ENDEAVOUR

Revista trimestral designada a registrar el progreso
de las ciencias al servicio de la humanidad

VOLUMEN V OCTUBRE 1946 NUMERO 20

Objeto y método de la ciencia

Caracterizó al Renacimiento, y en especial a ese aspecto suyo que significó la revivificación del conocimiento, la aparición de la nueva independencia del pensar. Los eruditos, los poetas y los artistas de Europa no se conformaban ahora con buscar la fuente de su inspiración en las enseñanzas de los escolásticos, en los dogmas eclesiásticos, o en los modos y hábitos de la Edad Media, que llegaba ahora a su ocaso. El nuevo espíritu de aventura intelectual condujo al hombre a librarse de la tradición y buscar la inspiración de los grandes pensadores de la Grecia y Roma clásicas.

Sería incorrecto, con todo, imaginarse que tal libertad nació ya plenamente desarrollada. Por el contrario, en su infancia consiguió poco más que cambiar un grupo de autoridades por otro.

No obstante, se había dado ya el primer y más difícil paso, y los estudiosos comenzaron gradualmente a percibir que las mismas razones que les habían impelido a apartarse de las autoridades medievales requerían también la investigación de la infalibilidad de un pasado aún más remoto. La creciente confianza que en sí mismos sentían les impidió desarrollar una confianza excesivamente crédula en las afirmaciones cuya veracidad no habían comprobado por sí mismos, por muy famosa que fuese su fuente; y una vez alcanzado este segundo estadio, quedaba abierto el camino para el más rápido progreso.

Publicamos en este número un artículo en honor del cuarto centenario del nacimiento de Tycho Brahe, cuyo servicio a la causa de la Ciencia se extendió mucho más allá de su inmediato interés en la Astronomía, en cuyo campo permitió a Keplero formular las leyes de las mociones planetarias. Brahe reconoció claramente, y así lo manifestó, que es condición previa de todo estudio y formulación de teorías la colección de datos relevantes por medio de la observación y del experimento. Este método experimental fué aceptado por Boyle, Newton y todos los demás grandes filósofos naturales de la época, y es esencialmente igual al « método científico » tan en uso hoy día. Implica la investigación de los fenómenos naturales mediante la recolección observacional y experimental de los hechos, y la integración de estos hechos para formar una teoría que, a su vez, sirve para hacer predicciones que pueden ser comprobadas por medio de nuevos experimentos y observaciones. Si dichas predicciones resultan correctas, la verdad pragmática de la teoría queda establecida con mayor firmeza; pero si son incorrectas, la teoría debe ser modificada, y aún abandonada, a la luz de los nuevos datos.

Esta facilidad con que el científico se deshace de sus teorías es por lo general malentendida por el hombre lego, que la considera signo de debilidad y confusión. « La Ciencia », dice, « nos ofrece continuamente diferentes explicaciones de los fenómenos »; lo que implica una crítica desfavorable. Porque sugiere, en realidad, que las enseñanzas de la Ciencia son inseguras, debido a la variabilidad de su modo de expresión. Se trata, evidentemente, en esto, de una falacia, pero tan generalmente aceptada que forma una de las principales dificultades para la general comprensión de los fines de la Ciencia. Acaso la mejor forma de evitar tal malentendido sería aclarar que por « explicación » el científico entiende « descripción », o, aún más precisamente, descripción de lo extraño en términos familiares. Una vez aceptado esto, el resto es simple, ya que las descripciones de un mismo fenómeno pueden variar en grado de exactitud y comprehensión. Un niño puede describir una vaca como un animal de cuatro patas que come hierba y da leche, y dicha descripción será verdadera; decir que una vaca es la hembra adulta salvaje o doméstica del género *Bos*, es igualmente cierto.

Pero ambas descripciones carecen de comprehensión; y cuando a veces una teoría vieja queda descartada en favor de otra nueva, la razón estriba en que o bien la vieja teoría no daba una descripción exacta de los fenómenos, o bien se consideraba que no los comprehendía por completo. Ahora bien, en la descripción de la naturaleza una exactitud y comprehensión perfectas son ideales inasequibles, y el esfuerzo del científico es aproximarse lo más posible a dichos ideales. El método científico no eleva sus teorías a la categoría de dogmas, sino que los clasifica, entre los tubos de ensayo y las balanzas, como instrumental necesario.

Este método científico ha probado ser de valor inestimable en todas las ciencias físicas, y a él se debe la rapidez con que ha progresado el conocimiento científico durante los tres siglos últimos. Su uso es hoy tan común entre los hombres de ciencia que es difícil recordar cuán reciente sea su origen. Como quiera, es imprudente prejuzgar que dicho método será el medio para la solución de todos los problemas que se presenten fuera de las ciencias físicas. A pesar de sus enormes posibilidades, el método científico no es omnipotente, ni podemos predecir que llegue un día a serlo. Aun dentro de las matemáticas y de las ciencias físicas presenta sus limitaciones; y así las ecuaciones diferenciales de la física moderna se resuelven muy a menudo más bien por procedimientos intuitivos que por un método riguroso. El principio de incertidumbre de Heisenberg, que tan amplias aplicaciones parece encontrar hoy día, sugiere que una sola serie de observaciones, por muy precisas que sean, puede ser objeto de diversas interpretaciones alternativas, a las que sólo se puede atribuir un cierto grado de probabilidad. El físico moderno se inclina hoy a abandonar la idea de que el futuro se halla inherente en el presente.

En su forma más simple, el método científico ha tenido que ser modificado cuando se aplica a fenómenos naturales en los que existen numerosas variables y para los que son impracticables los experimentos de control. En tales casos los métodos estadísticos han probado ser de gran valor. La Meteorología, tema del artículo de Sir Nelson Johnson en este número, ofrece múltiples problemas de este género. Se han realizado recientemente grandes progresos en los métodos para la colección de datos referentes a variables tales como la presión, temperatura, humedad, y velocidad del viento; pero al interpretar dichos datos debemos contentarnos, por el momento, con probabilidades, y no con certidumbres.

En el dominio de las cualidades no susceptibles de medida alguna es donde hay que reconocer que el método científico — tal como ha sido desarrollado hasta ahora — no tiene aplicación. Un ejemplo evidente nos lo ofrece el Arte; el método científico puede darnos extensa información sobre la naturaleza química de los pigmentos, la longitud de onda de la luz que reflejan y otros factores semejantes, pero es totalmente incapaz de predecir si un cuadro ha de producir un efecto estético en los que lo contemplan. Tampoco puede el método científico tener aplicación en los problemas que se refieren a la Literatura, o cualquier otra rama que se base sobre cualidades que no pueden ser medidas y conocimiento que no puede transmitirse. En el amplio campo de las actividades humanas, el método científico no puede aplicarse, ni aún en forma de análisis estadístico, a los problemas en cuyos fenómenos influyen valores filosóficos tales como la bondad, la verdad y la belleza, o emociones como el patriotismo, el temor o las convicciones políticas.

Hay muchos que ven en la Ciencia el camino más seguro hacia la mejora de la raza humana; los hay también que piensan que la Ciencia será la causa de la inminente ruina del mundo. Donde quiera que se halle la verdad, entre ambos extremos, a lo menos es indisputable que la Ciencia ha de tener una influencia profunda y creciente sobre el futuro del Hombre. Y es, por lo tanto, esencial que los que tienen la responsabilidad de tomar graves decisiones reconozcan claramente no sólo la amplitud de su campo, sino también las limitaciones de la Ciencia, tal como es hoy día concebida.

Redactor: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.

Redactor auxiliar: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.

Ediciones extranjeras: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1.

Desarrollos recientes en meteorología

SIR NELSON JOHNSON

A pesar de que los fenómenos meteorológicos han atraído forzosamente la atención del hombre desde los tiempos más antiguos, la meteorología es una ciencia joven, ya que sólo desde hace relativamente poco tiempo se han estudiado dichos fenómenos de una manera científica. En este artículo se presentan las causas que retardaron durante largo espacio dicho estudio científico, y la dirección que toman tales trabajos en la actualidad.

Desde los tiempos más antiguos hasta el siglo XIX se esforzaron los filósofos por explicar los cambios meterológicos que se producían en un lugar dado. Pero no supieron resolver tal enigma. No parecía haber en ellos motivos o razones, y la situación entera se resumía con la frase popular de « el viento sopla por donde se le antoja ».

Pero con el curso del tiempo, los trabajadores del campo se apercibieron gradualmente de que ciertos aspectos del cielo parecían presagiar lluvia o buen tiempo, surgiendo lentamente todos los motivos de la sabiduría popular sobre los cambios meteorológicos. La mayoría de dichas reglas sólo cubría unas cuantas horas del futuro, y aunque se hallaba en algunas de ellas un cierto elemento de verdad, la mayor parte no tenían fundamento alguno ni en teoría ni de hecho. El lector que se interese en este particular aspecto de nuestro estudio puede leer un libro, recientemente aparecido,[1] en el que se estudian críticamente todas estas creencias y reglas de predicción folklóricas.

La observación en un punto único es aún hoy forzosamente el método único de estudio en algunos casos; haciéndose necesaria la recopilación estadística de los datos así obtenidos. Pero con muchos de los elementos meteorológicos las desviaciones del valor medio son tan marcadas que la « desviación media » es, con gran frecuencia, casi tan importante como el valor medio mismo.

Antes de dejar a un lado el caso del observador aislado, es preciso notar que hay muchos casos en que las predicciones de dicho tipo de observador son necesarias aún hoy en día, como en el caso de un barco aislado en alta mar. Pero el conocimiento moderno de los sistemas de presión y de los « frentes » permite a un meteorólogo alcanzar cierto éxito en la interpretación de sus propias observaciones; sin embargo, es éste un método que no debe emplearse cuando se puedan obtener datos de otros puntos próximos. La colaboración internacional y el uso de la radio hacen hoy bastante raro el caso del meteorólogo que tenga que intentar predicciones aisladas.

La invención del barómetro en 1643 y el descubrimiento de que la presión atmosférica se encuentra sujeta a ciertas variaciones fueron sucesos que hicieron época. Pero no causaron, a pesar de su importancia, el progreso científico que de ellos pudiera esperarse. Su verdadero significado no comenzó a vislumbrarse hasta que se decidió hacer un plano de todas las observaciones hechas sobre cierto área simultáneamente. Lo cual tuvo lugar a principios del siglo XIX, poniendo en evidencia de inmediato la relación entre la presión y el viento, y mostrando la estructura orgánica de las depresiones, con su naturaleza de vórtice, abriendo así el camino al estudio matemático que había de realizarse dos generaciones más tarde.

El progreso era todavía lento, ya que la colección de observaciones de todo un área era obra de gigantes en aquellos tiempos. Pero la posición quedó totalmente alterada con la invención del telégrafo eléctrico hacia mediados del siglo. Muy pronto fué posible hacer mapas « sinópticos » que cubrían diariamente un amplio territorio. El intercambio internacional de observaciones se hizo necesario, y durante la segunda mitad del siglo se realizaron grandes esfuerzos para establecer dicha cooperación internacional sobre una base firme.

Aunque la predicción meteorológica era todavía marcadamente empírica, continuaban los estudios sobre la física y dinámica de los sistemas de presión. Se admitió la coexistencia de corrientes de aire caliente procedentes de las regiones ecuatoriales y de aire frío de las árticas dentro de una misma depresión, esforzándose los matemáticos por descubrir las condiciones bajo las cuales podían permanecer estables dichas corrientes en juxtaposición. Sin embargo, hasta la segunda

[1] G. Kimble y R. Bush. *The Weather* (Pelican Books).

década de nuestro siglo no pudieron establecer los meteorólogos noruegos Bjerknes (padre e hijo) una teoría que fuese satisfactoria, tanto desde el punto de vista físico como matemático.

Segun la teoría de Bjerknes, las depresiones se desarrollan en un punto dentro del límite entre una corriente de aire templado y otra de aire frío. El aire caliente forma un bolsón dentro de la corriente fría, y el centro del ciclón ocupa el ápice de dicho bolsón, o « sector templado », según aparece en la figura 1. El borde frontal del sector

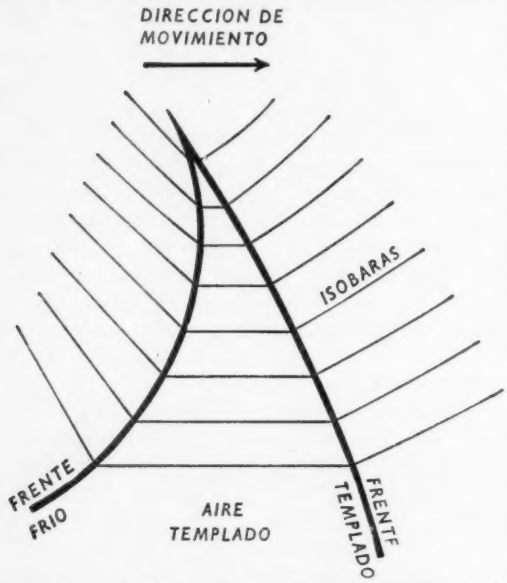


FIGURA 1 – *Estructura de una depresión (según Bjerknes).*

templado recibe el nombre de « frente templado » y se caracteriza por el resbalamiento del aire templado sobre el frío a lo largo de una superficie inclinada con un gradiente de 1/150 respecto de la horizontal. El borde posterior del sector templado se denomina « frente frío » y en él el aire frío introduce como una cuña bajo el aire templado, levantándolo del suelo. El ángulo de la cuña es de unos 1/50. El efecto combinado de ambos procesos es el estrechamiento del sector templado hasta que queda separado del suelo, disminuyendo de intensidad la depresión a partir de dicho momento.

Las observaciones de los últimos treinta años han demostrado que la teoría de Bjerknes es una hipótesis de gran utilidad para la predicción meteorológica, y existen muy pocas razones que nos hagan dudar de su exactitud, por lo menos en lo que se refiere a sus puntos esenciales. Para nuestro estudio presente, la característica más interesante es la introducción de la dimensión vertical; ya no es suficiente imaginarse las depresiones como fenómenos que suceden cerca del suelo, sino que por el contrario es preciso prestar atención a lo que ocurre en una zona que se extiende desde el nivel del mar hasta la base de la estratoesfera y, muy posiblemente, más allá de la estratoesfera misma.

Aunque la necesidad de obtener datos sobre los movimientos y condiciones físicas de las capas superiores del aire se hizo así evidente, no se llegó a desarrollar hasta los años últimos la técnica necesaria para la obtención regular de dicha información, habiéndose realizado en dicho aspecto progreso decisivo en fecha reciente.

Uno de los datos más valiosos que el meteorólogo puede obtener en las capas superiores de la atmósfera se refiere a los movimientos en dichas regiones. No sólo puede mediante su conocimiento informar a los pilotos de aviación de los vientos navegacionales que han de encontrar, sino que es además de importancia primordial en conexión con la dinámica y persistencia de ciclones y anticiclones.

El método normal de medición de los altos vientos es la observación de un globo piloto por medio de un teodolito; pero dicho método tiene el inconveniente de no poderse aplicar cuando el cielo está encapotado. Se han inventado otros dos métodos que salvan dicha dificultad.

En el primer método se establecen tres puestos radiogoniómetros formando un triángulo de unos 40 km. de lado. Desde una estación de control colocada cerca del centro de dicho triángulo se suelta un globo de unos 2 m. de diámetro que arrastra un pequeño transmisor. El globo va lleno de hidrógeno, elevándose a una velocidad de 6 m./seg., y sus transmisiones son recibidas por los tres puestos radiogoniómetros que cada minuto registran la dirección del globo en relación con cada puesto, conociéndose mediante la intersección de las tres, la posición exacta del transmisor, y por lo tanto su dirección de movimiento y la velocidad del viento que lo arrastra. El globo llega a alcanzar por lo general una altura de 18 km. antes de estallar, abriéndose entonces un paracaídas que protege el descenso del transmisor.

El equipo empleado en las estaciones de observación fué desarrollado por el Laboratorio Nacional de Física de Teddington. Consiste esencialmente de una antena Adcock de tipo H con dipolos verticales, que rota sobre un eje

vertical. El circuito receptor está sintonizado con la frecuencia del transmisor del globo, y la situación de éste se halla haciendo rotar la antena hasta que la posición perpendicular a la onda del transmisor produce un silencio en los auriculares del operador.

Para obtener resultados exactos con este método es preciso prestar gran atención a ciertos puntos. Es esencial la exacta simetría en la construcción de las antenas, debiéndose tomar así mismo precauciones para eliminar cualquier causa que pueda producir la refracción de la onda incidente. No debe emplearse, por lo tanto, material de hierro en la construcción de las casillas de observación, ni debe haber vallas de metal, postes de alta tensión, edificios o árboles en las cercanías, debiéndose además construir el observatorio en un lugar raso que posea un subsuelo uniforme.

Dichas limitaciones son un tanto severas, y combinadas con la necesidad de manejar tres puestos de observación, hacen que poco a poco tal método vaya cayendo en desuso en favor del sistema de Radar.

El método de Radar utiliza también la persecución de un globo arrastrado por el viento. En este caso, el trasmisor de Radar de la estación-observatorio lanza pulsaciones hacia el globo que lleva un instrumento especial para reflejar dichas pulsaciones hacia el aparato receptor que está colocado al lado del transmisor y da las mediciones del azimut, elevación y distancia del globo. Con esas tres cantidades, unos simples cálculos trigonométricos permiten la exacta computación del curso del globo de minuto a minuto.

El transmisor y receptor de onda corta de Radar son transportados en un remolque de camión, y sus antenas respectivas se hallan situadas en los focos de dos espejos paraboloides de 1,20 m. de diámetro montados sobre el techo. Ambos espejos van colocados lado a lado sobre una montura que permite su giro en azimut y elevación; y el operador manipula el instrumento hasta que obtiene la señal reflejada en su máxima intensidad, lo que indica que los ejes de ambos espejos están dirigidos hacia el globo.

El reflector especial transportado por éste está basado en el principio del « reflector de rincón ». Tres superficies perpendiculares entre sí, tales como las del rincón o ángulo de una caja, tienen la propiedad de reflejar una onda incidente en la misma dirección de incidencia. Para seguir la dirección del viento se construyen reflectores extendiendo papel metálico sobre una armadura ligera de madera que tenga tres superficies en intersección, una horizontal y dos verticales (figura 2). Aunque este reflector se balancea por necesidad al colgar del globo, su capacidad para reflejar una onda con un ángulo de 180° significa que todas las pulsaciones radáricas que llegan hasta él son devueltas con la máxima intensidad hacia el receptor-observador.

Los resultados obtenidos con ambos métodos de observación descritos están ilustrados en la figura 3 que muestra los movimientos del viento el 9 de noviembre de 1944. Al mediodía (gráfica *A*) la máxima velocidad del viento ocurrió a una altura de 10 km., con un valor de 41 m./seg. A la medianoche (gráfica *B*) la velocidad del viento a idéntica altura había aumentado a 102 m./seg. Tales velocidades eran insospechadas hasta que se

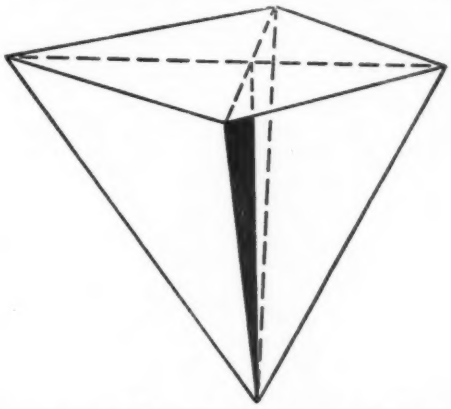


FIGURA 2 – « *Reflector de rincón* » *arrastrado por un globo para la observación eólica por Radar.*

pudo disponer de los procedimientos descritos para su medición, ya que siempre se producen en condiciones ciclónicas cuando el cielo se halla densamente cubierto. Más notable aún que la velocidad del viento es la rapidez con que aumentó ésta en el curso de 12 horas.

Como ya se ha indicado, dichos métodos de observaciones eólicas están al presente limitados a una altura de unos 18 km. Se produjo, sin embargo, durante la guerra la oportunidad de medir el viento a una altura de 30 km., y aunque el método no se presta a su utilización regular en los observatorios, produjo resultados de interés e importancia. El método requiere el uso de un cañón especial que dispara una bala en dirección vertical y a gran velocidad, con una espoleta regulada para que estalle en el punto más elevado de su trayectoria, produciendo una humareda que puede ser seguida con teodolitos desde el suelo.

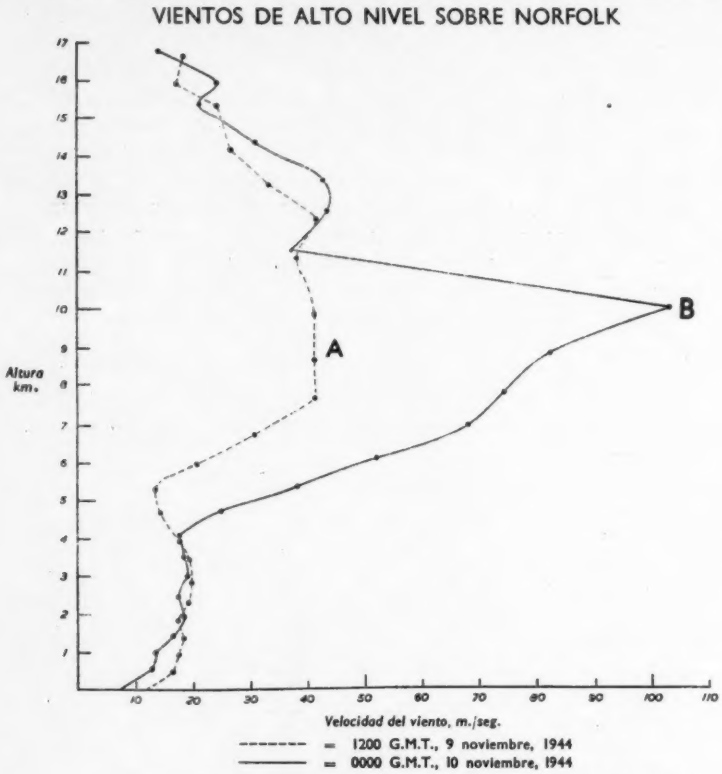


FIGURA 3 – *Estructura del viento (A) al mediodía, y (B) a la medianoche del 9 de noviembre de 1944.*

Una serie de mediciones llevadas a cabo en el SE. de Inglaterra a intervalos quincenales aproximados durante un período de quince meses mostró que durante el invierno el viento, a la altura de 30 km. se desplaza predominantemente hacia el O., mientras que durante el verano lo hace hacia el E. Los cambios de dirección se producen hacia Abril y Octubre. Se halló además que los vientos invernales son mucho más fuertes que los estivales, alcanzando los primeros una media de 37 m./seg., contra 12 m. de los segundos. La velocidad más elevada observada durante dicho período fué la de 66 m./seg.

Además del conocimiento de los movimientos del aire en las capas superiores, el meteorólogo necesita también conocer sus condiciones físicas, esto es: su presión, temperatura y humedad. Se obtienen dichos datos por medio de la sonda de radio, que es posiblemente el instrumento meteorológico más interesante. No sólo sirve para medir las propiedades mencionadas sino que envía además automáticamente señales de radio que dan al observador los valores de las tres cantidades.

Una sonda de radio consiste esencialmente de dos partes. Se hallan en ella, en primer lugar, los aparatos sensitivos: uno para la presión, otro para la temperatura y un tercero para la humedad atmosférica. La segunda parte consiste de un transmisor de radio y de un mecanismo que permita la transmisión de las variaciones en los aparatos sensitivos al transmisor de radio.

La mayor parte de las sondas de radio emplean uno de estos sistemas: el primero es el cronométrico, que va ilustrado en la figura 4; imagínese una palanca que gira uniformemente con un contacto fijo en un punto de la circunferencia, produciéndose el contacto, por lo tanto, a intervalos fijos e iguales al período de rotación; si introducimos otro contacto cuya posición en la circunferencia varía mediante la acción de un barómetro, el intervalo de tiempo mediante el contacto fijo y el móvil nos dará la medida de la presión atmosférica. Si dividimos la circunferencia en tres sectores, dedicando uno de ellos a las variaciones de presión (P), el segundo a las variaciones de temperatura (T) y el tercero a las de humedad (U), podemos obtener mediciones de dichas condiciones mediante la observación de las secuencias de los intervalos de tiempo. Todo lo que necesitamos es recibir los mensajes de radio en un cronógrafo y leer los intervalos de tiempo, que pueden ser interpretados mediante la carta de calibración del transmisor determinado. Este es el principio aplicado en los instrumentos canadienses, indios y franceses.

El segundo sistema empleado en el diseño de las sondas de radio se basa en las variaciones de frecuencia del transmisor causadas por el instrumento meteorológico. La frecuencia de un circuito eléctrico está determinada por su capacidad, resistencia e inductancia, y puede ser variada mediante el cambio de cualquiera de estas tres cantidades. En el modelo finlandés se varía la capacidad del circuito; la resistencia en el norteamericano; y en el instrumento británico — cuyo

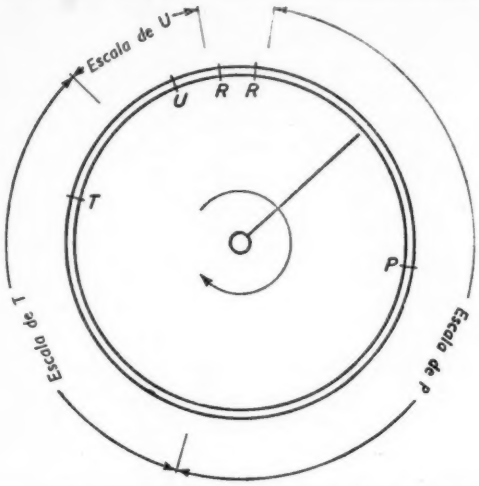


FIGURA 4 – *El principio cronométrico empleado en algunas sondas de radio.*

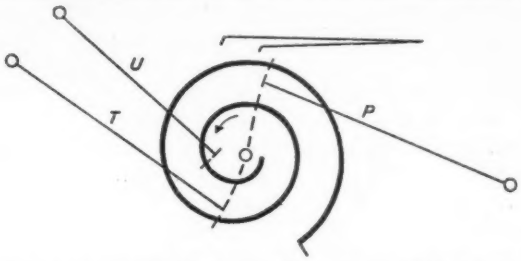


FIGURA 5 – *La unidad cronométrica de una sonda de radio canadiense.*

prototipo fué diseñado en el Laboratorio Nacional de Física — se varía la inductancia.

El componente central del instrumento canadiense es una varilla de latón torcida en forma de espiral equiangular, que gira a una velocidad constante por medio de un motor eléctrico (figura 5). Los tres elementos meteorométricos están colocados a su alrededor, y cada uno de ellos mueve una palanca con un delgado alambre de contacto en su extremo. La variación de cualquiera de dichas palancas respecto de su posición normal produce una variación del instante en que se produce el contacto, de modo que este sirve para indicar dichas variaciones. Dos contactos fijos situados muy próximos sirven para distinguir el punto de referencia de los contactos variables.

El elemento meteorométrico para indicar los cambios de presión consiste de una cápsula aneroide, mientras que las variaciones de temperatura y humedad son registradas por medio

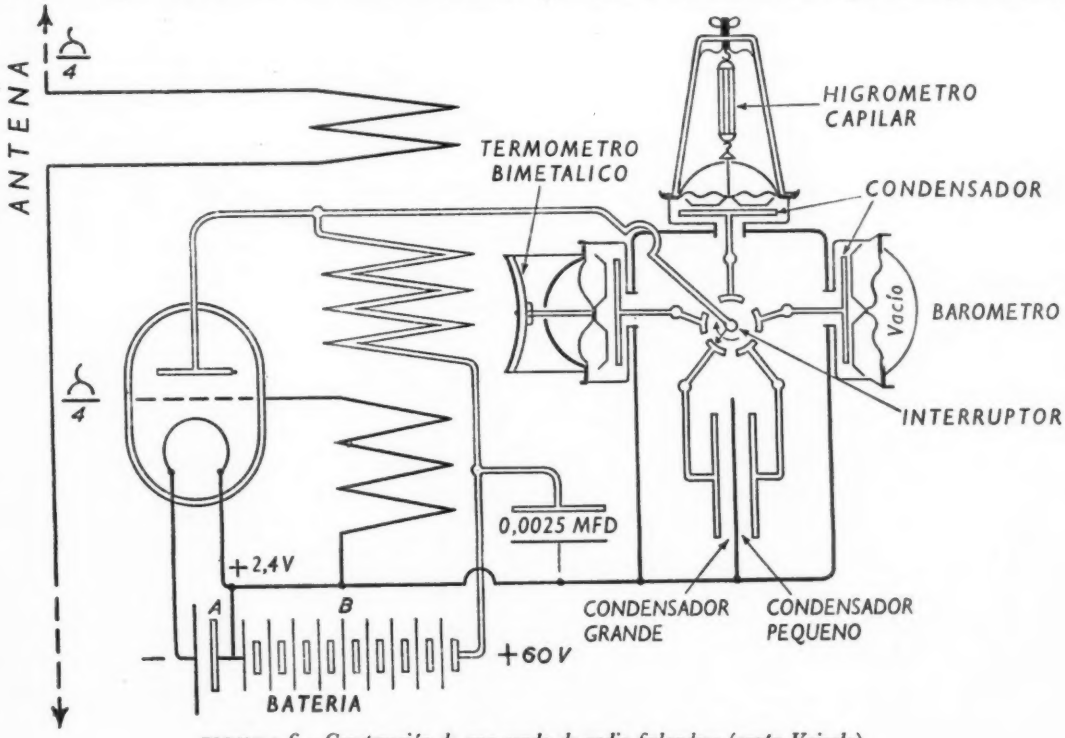


FIGURA 6 – *Construcción de una sonda de radio finlandesa (según Vaisala).*

de una bobina bimetálica y de pelo respectivamente. Los resultados son recibidos en el punto de observación con un ingenioso cronógrafo que marca las gráficas de presión, temperatura y humedad directamente contra el tiempo.

La sonda de radio diseñada por el Dr. Vaisala de Finlandia ofrece un ejemplo excelente del tipo de instrumento de variación de frecuencia. Su construcción general puede estudiarse en la figura 6. Los elementos meteorométricos son semejantes a los del instrumento canadiense, pero en el caso presente cada uno de ellos contiene la placa de un condensador cuyo movimiento varía la capacidad, y por lo tanto la frecuencia, del circuito transmisor. Un molinillo opera un interruptor rotatorio que conecta cada uno de los condensadores variables en turno con el circuito. Hay también dos condensadores fijos que hacen el papel de señales de referencia.

La sonda británica se asemeja al instrumento finlandés en su construcción general, con dos diferencias fundamentales. En primer lugar, cada elemento meteorométrico varía la inductancia de una bobina de núcleo de hierro en forma de U mediante los movimientos de una armadura con relación a dicho núcleo; la segunda diferencia consiste en que en el instrumento británico la frecuencia fundamental de las transmisiones permanece constante, produciéndose las variaciones en una modulación de audio-frecuencia superimpuesta sobre la fundamental. Como en el instrumento finlandés, se utiliza un molinillo rotatorio con interruptor (figura 7). Mide 19 cm. de altura por 14 cm. de diámetro, y pesa 1½ kg.

La sonda norteamericana emplea variaciones en la resistencia del circuito eléctrico. Las variaciones de presión están indicadas por medio de un par de cápsulas aneroides que mueven una palanca sobre una serie de contactos. El elemento de temperatura consiste de un fino tubo de vidrio lleno de un electrolito inhelable; la conductividad de dicho electrolito tiene un elevado coeficiente de temperatura, y su resistencia sirve por lo tanto para indicar la temperatura ambiente. El elemento de humedad es también original; utiliza las variaciones de resistencia de una película impregnada de cloruro de litio cuando se la somete a variaciones de humedad.

Se ha empleado mucho tiempo y esfuerzo para descubrir y evitar todas las causas de error en el aparato británico, habiéndose investigado especialmente los efectos de las intensas radiaciones (en todas direcciones) sufridas a grandes alturas. Dichas radiaciones afectan no solamente los elementos meteorométricos, sino también ciertos sectores del circuito eléctrico. Se cree que la sonda británica da hoy registros de temperatura de una exactitud de unos 0,5° C.; y se intenta conseguir que la exactitud de los registros de presión sea de un milibar.

Ninguno de los elementos de humedad usados en las sondas de radio puede considerarse satisfactorio. El retardo de reacción de la fibra capilar se hace excesivo a temperaturas bajo 0°; en el instrumento británico se utiliza ahora una piel especial que, aunque significa una gran mejora respecto del pelo, es casi inútil a temperaturas inferiores a —25° C.

El único método satisfactorio para registrar la humedad atmosférica a bajas temperaturas es mediante el uso de un higrómetro especial recientemente desarrollado por Dobson y Brewer. Sin embargo, hasta el momento no se ha conseguido avanzar el aparato hasta el punto de que

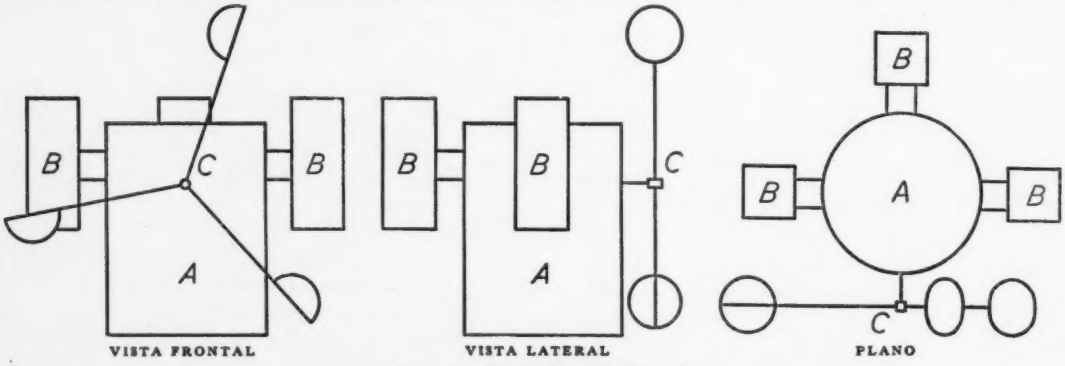


FIGURA 7 – *Sonda de radio británica.*

A = Cuerpo cilíndrico que contiene el transmisor de radio y sus baterías.

BBB = Protección anti-radiación de los elementos de presión, temperatura y humedad.

C = Molinillo que opera el interruptor rotatorio.

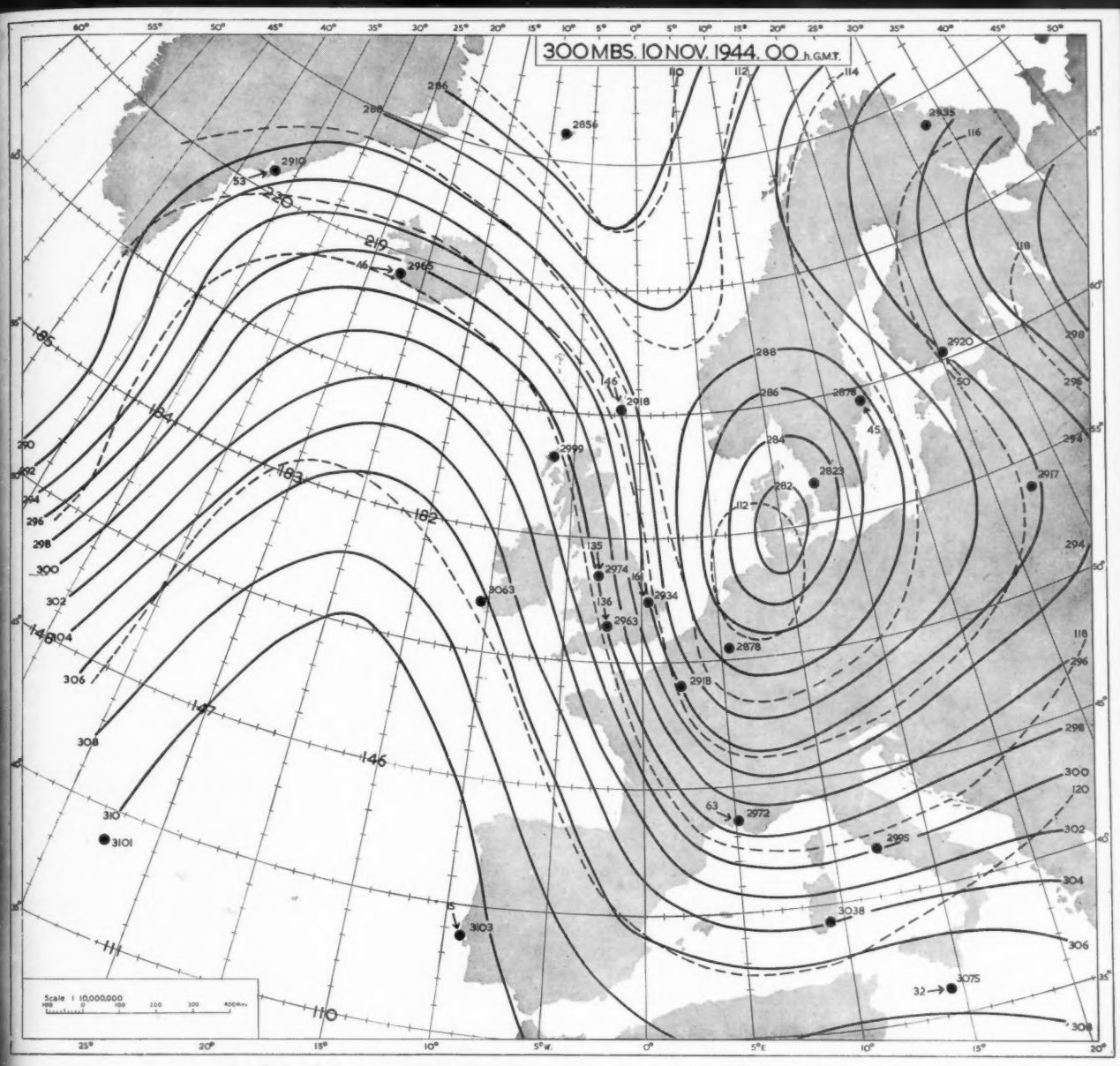


FIGURA 8 – *Carta de la zona superior del aire* (300 *mb.*) *a las* 00 *horas del* 10 *de noviembre de* 1944.
Véase págs. 135–6. Las flechas y numeritos que las acompañan indican la dirección y velocidad del viento.

pueda ser usado sin un operador, y no puede por lo tanto utilizarse en una sonda de radio.

La temperatura de la estratoesfera puede alcanzar hasta — 80° C., y a tal temperatura las cantidades máximas de vapor de agua son tan pequeñas que su determinación cuantitativa no puede hacerse con los métodos comunes. Sin embargo, la depresión del punto de depósito de escarcha bajo la temperatura ambiente es una cantidad que permanece relativamente grande. Así, a una temperatura de — 50° C. la depresión del punto de depósito de escarcha para una humedad relativa de 50% es de unos 5° C.

El principio sobre el que se basa el higrómetro de Dobson-Brewer es el mismo del conocido higrómetro de Regnault en el que se enfría una superficie metálica hasta que se deposita rocío en ella. La construcción del instrumento de Dobson va ilustrada en la figura 10. Sobre un frasco de Dewar que contiene petróleo enfriado mediante la adición de bióxido de carbono sólido va montado un dedal de cobre, humedecido por

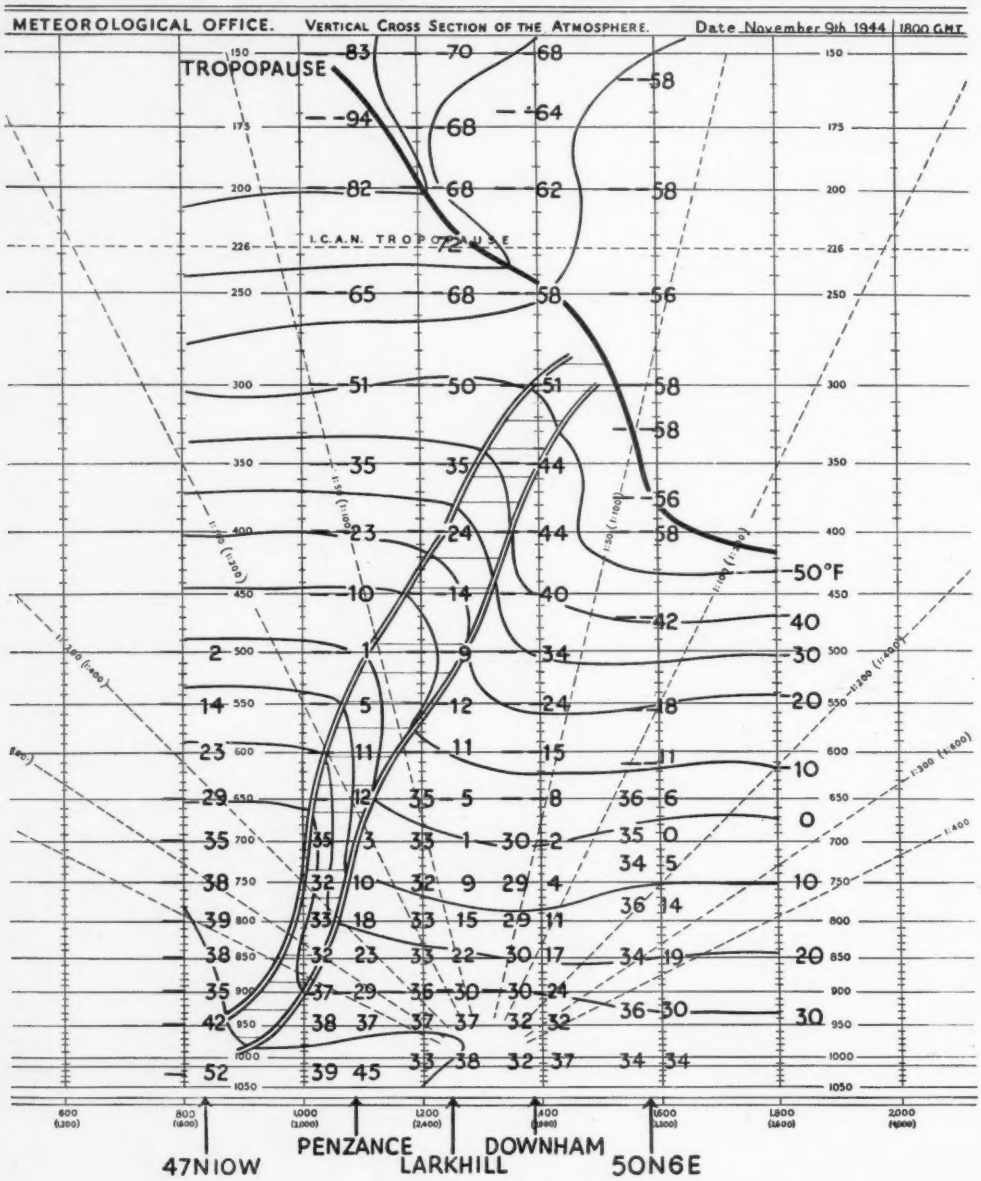


FIGURA 9 – *Sección vertical de la atmósfera a las* 18 *horas del* 9 *de noviembre de* 1944.

medio de una bomba de mano en su parte inferior por el petróleo, y depositándose en su parte superior una capa de escarcha. La temperatura a que se produce dicho fenómeno va indicada por un termómetro eléctrico incrustado en el dedal; la formación del depósito es detectada por medio de una célula fotoeléctrica que se ha hallado ser mucho más exacta que la observación visual. Un rayo de luz va dirigido oblicuamente sobre la superficie superior del dedal, siendo el rayo reflejado absorbido en *G*. Al formarse el depósito de escarcha sobre la superficie, se desparrama la luz y va enfocada a una célula fotoeléctrica. En la práctica, la temperatura del

dedal está ajustada para que dé una lectura constante en el microámetro de la fotocélula, mostrando que el depósito de escarcha no crece ni se evapora. Una pequeña bobina calentadora alrededor del dedal ayuda a mantener la temperatura.

Este instrumento, montado sobre un avión y manejado por Mr. Brewer ha dado excelentes resultados durante muchos ascensos a la estratoesfera. El más importante es el descubrimiento de que el aire de la estratoesfera es muy seco. La humedad relativa hasta la base de la estratoesfera varía entre 30 y 100%, pero al entrar en la estratoesfera, la humedad decrece rápidamente, hasta que a unos 2 km. dentro de dicha zona el valor es de 1%.

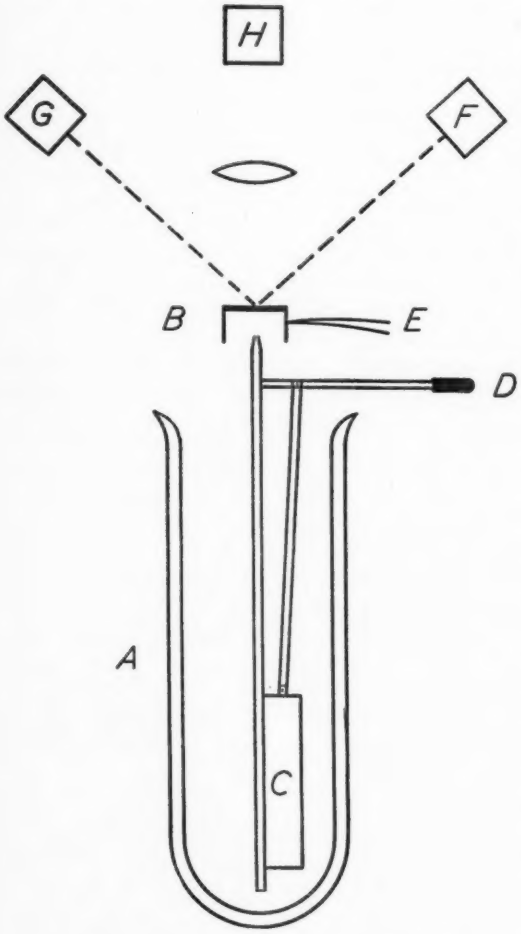


FIGURA 10 – *El higrómetro Dobson-Brewer.*

A = Recipiente de Dewar que contiene petróleo enfriado con bióxido de carbono sólido.
B = Dedal.
C = Bomba operada con el mango D.
E = Termómetro eléctrico incrustado en el dedal.
F = Foco de luz.
H = Fotocélula.

La altura a que comienza la estratoesfera varía con la situación meteorológica. En la latitud de las Islas Británicas, su altura es de unos 11 km., pero puede variar entre 8 y 16 km. La baja humedad mencionada ha sido observada en ocasiones cuando la base de la estratoesfera se encontraba a unos 10 km., pero se ignora si se dan humedades tan bajas cuando la base estratoesférica se encuentra a mayores alturas. Dicha baja humedad se debe, al parecer, al descenso del aire de la estratoesfera en las regiones ecuatoriales, en cuyo caso las humedades más bajas debieran darse únicamente cuando la base estratoesférica está relativamente baja en las latitudes templadas.

Indicaremos de paso que estos datos recientes acerca de la humedad de la estratoesfera sirven para aclarar un fenómeno observado durante la primera época de la guerra. Se descubrió que las huellas de vapor tan características en el cielo durante los días de la Batalla de la Gran Bretaña, dejaban de formarse al elevarse el avión en la estratoesfera. Dichas huellas están formadas por la condensación de la humedad de los gases del escape del motor del avión; y queda ahora aclarado que la no-formación de dichas huellas en la estratoesfera se debe a que la baja humedad de ésta causa la evaporación de la huella casi al instante mismo en que se forma.

El valor primario de las observaciones a grandes alturas es para el trazado de mapas para los niveles superiores de la atmósfera, que corresponderían con las conocidas cartas sinópticas del nivel del mar. En las últimas, las isóbaras están diseñadas para dicho nivel « standard ». En el caso de las cartas de altos niveles, la práctica desarrollada en la Gran Bretaña es el marcaje de isopletas que indiquen la altura de la superficie de un valor de presión determinado. Las cartas resultantes son muy similares en apariencia a las cartas sinópticas, señalándose en ellas una depresión, por ejemplo, por medio de una serie de curvas cerradas concéntricas. Se diseñan cartas para los niveles de presión de 1.000, 700, 500 y 300 mb. que corresponden aproximadamente a alturas sobre el nivel del mar de 0, 3.350, 5.480 y 9.140 m. respectivamente.

La carta de superficie de 1.000 mb. se computa primeramente sobre los datos de presión al nivel del mar. El espesor de las capas sucesivas,

1.000–700 mb., 700–500 mb., y 500–300 mb., se calcula sobre los datos de temperatura y humedad de la atmósfera superior obtenidos por medio de las sondas de radio o de vuelos de observación. Estas observaciones se llevan a cabo cada seis horas, trazándose una carta, y obteniéndose así una serie de cartas que muestran las tendencias de la temperatura, espesor y altura de las superficies isobáricas. La figura 8 muestra la carta de 300 mb. referente a la ocasión indicada anteriormente en que se registró una velocidad eólica de más de 100 km./hr. (véase figura 3). Estas cartas de las zonas superiores permiten realizar predicciones directas del viento, nubeo y otras condiciones de la alta atmósfera para la aviación.

Los datos referentes a tales niveles se usan también para el diseño de secciones verticales de la atmósfera. Uno de tales diagramas aparece en la figura 9, referido a la misma ocasión de la figura 8.

En este tipo de diagrama las distancias horizontales van indicadas por abscisas, y la posición de cada estación de observación por su nombre o por sus coordenadas geográficas. La escala vertical es de altura, pero tiene un aumento de 200 en relación con la escala horizontal. Sobre cada posición de observación van indicadas dos columnas de cifras; la de la derecha es la de la temperatura del aire registrada a sucesivas alturas, o niveles de presión, lo que permite el establecimiento de las isotermas. Estas aparecen más o menos horizontales en la sección de la derecha de la figura 9, pero se elevan bruscamente en el « frente frío » marcado por las dos líneas dobles e inclinadas hacia la izquierda de la figura. Aunque se habla generalmente de un frente como si se tratase de una línea, en la práctica la discontinuidad no se produce repentinamente, sino puede extenderse sobre una zona de unos 160 km. La columna de cifras de la izquierda sobre las posiciones de observación es la temperatura potencial del termómetro húmedo. Se trata de una propiedad cuasi-permanente en cualquier masa de aire y es, por ello, de gran valor para la identificación y localización de los límites de las masas de aire. La constancia de dicho factor, tanto vertical como horizontalmente, se puede observar a la derecha del frente de la figura 9. La altura de la base de la estratoesfera (o tropopausa) está indicada por la línea gruesa en lo alto del diagrama. Es curioso observar el rápido cambio de altitud que se produce en la proximidad del « frente ».

Ambos tipos de cartas de niveles superiores (figuras 8 y 9) nos dan una vívida representación tridimensional de la estructura de la atmósfera y de los movimientos de las masas de aire que en ella se producen.

Existen todavía numerosos fenómenos de la atmósfera superior que no tienen explicación; se desconoce, por ejemplo, por qué la temperatura de la estratoesfera es 50° C. más baja sobre el ecuador que sobre los polos, y por qué presenta variaciones temporales tan considerables. Las condiciones de radiación en la estratoesfera están reguladas mayormente por factores tan mínimos como el vapor de agua, ozono, bióxido de carbono y, muy posiblemente, otros gases poliatómicos. La solución de los problemas mencionados requiere, por lo tanto , un conocimiento de los gases que se hallan en la alta atmósfera, la densidad de los mismos a los diversos niveles y sus coeficientes de absorción de varias longitudes de onda. La plena comprensión del problema necesita además el conocimiento de los procesos de formación y descomposición de dichos gases. Tales investigaciones requieren un plan complejo y extendido, pero las soluciones que puedan aportar serán fundamentales para la comprensión racional de los procesos atmosféricos, y por ello están siendo activadas bajo la dirección del Committee Gassiot de la *Royal Society*.

Tycho Brahe, 1546–1601

HERBERT DINGLE

La importancia de la precisión en las observaciones para la formulación de teorías se reconoce hoy universalmente, y es difícil imaginar que no haya sido siempre así. El reconocimiento por Tycho Brahe de este hecho le permitió acumular los datos esenciales para la expresión de las leyes planetarias de Keplero. Sus principios son, además, fundamentales del método científico de nuestros días, y sus enseñanzas alcanzaron, por lo tanto, mucho más allá del campo astronómico al que se aplicaron primeramente.

El período al que damos el nombre de Renacimiento comprende una época crítica en múltiples sectores del pensamiento y de la ciencia, y en ninguno de ellos más que en el de la Astronomía. La importancia de este hecho es mucho mayor de lo que parece a primera vista, porque la Astronomía se hallaba tan entremezclada con el cuerpo general del pensamiento medieval que su reforma significó una nueva visión del mundo y de la vida en general. El cambio fundamental en el punto de vista lo introdujo Copérnico, aunque Copérnico no hizo gran cosa por aprovecharse de la oportunidad así creada. Transformó el concepto medieval, trasladando el punto de vista a su moderna posición, concibiendo las esferas celestes y los epiciclos y deferentes de Ptolomeo centradas en el Sol en lugar de la Tierra. Pero fué Keplero quien mostró las posibilidades encerradas en la reforma copernicana, y sus leyes de las mociones planetarias, en las cuales se abandonó por vez primera la idea de esferas y de mociones circulares perfectas, contenían, en esencia, la solución del problema todo de la Astronomía medieval. La obra de Keplero hubiera dejado cerrado el estudio de dicha ciencia, con la excepción de algunos problemas menores, si Galileo no hubiera infundido nueva vida a dicho tema y abierto campos de exploración sin límites, que aún investigamos, con su nueva mecánica y « tubo óptico ». A esos tres genios debemos todo lo que conocemos hoy de Astronomía teórica, pero su trabajo hubiera quedado esencialmente incompleto, o imposible, sin la labor de un cuarto. Porque es a Tycho Brahe a quien Keplero debe todas las observaciones que le permitieron expresar las verdaderas leyes planetarias en términos corpernicanos, y esta deuda no es meramente accidental. El trabajo de Tycho representó una nueva actitud, un cambio tan radical, a su manera, como el de Copérnico, ya que la idea de la necesidad de conocer lo más exactemente posible un fenómeno antes de describirlo, aunque no nos parezca hoy sorprendente, era algo casi inconcebible durante el siglo XVI.

Tycho Brahe (o Tyge Brahe, para darle su nombre danés) nació en Knudstrup el 14 de diciembre de 1546. Era el primer varón y segundo hijo de Otto Brahe, canciller y miembro de una noble familia danesa. Se crió con su tío, Jörgen Brahe, que, por no contar con descendencia, había conseguido, parte a la fuerza y parte por persuasión, que se le hiciese cargo de la criatura. Tras las primeras lecciones con un tutor privado, ingresó, a la edad de 12 años, en la Universidad de Copenhague donde cursó Retórica y Filosofía con la intención de ingresar más adelante en la política. Un eclipse parcial del sol ocurrido el 21 de agosto de 1560 le causó impresión tan profunda que llegó a considerar como algo « divino el que el hombre conociese las mociones de los astros con tal exactitud que podía predecir con gran anterioridad su lugar y posición relativa con otros ». Comenzó inmediatamente a realizar estudios en la materia, adquiriendo un volumen de las obras de Ptolomeo, que parece haber absorbido todo su interés durante el resto de sus tres años de estudio en Copenhague. Dicha aberración llegó a preocupar a su tío, quien al enviarle a una universidad extranjera, según era costumbre en la época (la de Leipzig en el caso de Tycho), hizo que le acompañase como tutor suyo un joven, Anders Vedel, quien llegó más adelante a ser distinguido historiador y permaneció siempre buen amigo de Tycho, y cuya tarea principal era asegurarse de que los estudios de éste eran los que correspondían a un joven noble. Vedel se esforzó por cumplir concienzudamente dicho encargo, y al principio Tycho tuvo que estudiar Astronomía y Matemáticas mientras dormía su tutor, pero tras de algunos altercados tuvo éste que reconocer que Tycho había nacido

para la Astronomía nada más, estableciéndose una especie de tácito acuerdo entre ambos. Dice Dreyer que cuando contaba sólo 16 años « se abrieron sus ojos a una gran verdad, que hoy nos parece bien simple comprender, pero que se les había escapado a todos los astrónomos de Europa anteriores a él, a saber: que sólo siguiendo un curso decidido y preciso de observaciones era posible obtener una más clara comprensión de las mociones planetarias, y decidir qué sistema universal era el verdadero ». Su primera observación fué de la próxima conjunción de Jupiter y Saturno, realizada con un par de compases ordinarios el 17 de agosto de 1563, pero muy pronto se dedicó a adquirir un instrumento mejor, y el año siguiente se hizo con un « radius » que consistía de dos varillas graduadas, con la más larga biseccionando a la más corta en ángulo recto, y libre de movimiento en su propia dirección, de modo que, por medio de unas mirillas fijadas a ambos extremos de la varilla más corta y otra en uno de la más larga, a la que se aplicaba el ojo, se podía, en determinada posición, ver dos estrellas cuya separación angular se deseaba conocer. Este instrumento no le satisfizo, pero como no pudo conseguir que Vedel le diese dinero para obtener otro mejor, llevó a cabo el hecho histórico en el desarrollo de la técnica de la observación de construir una tabla de corrección de las lecturas obtenidas con el « radius ».

El tío de Tycho murió poco después del regreso de éste a Dinamarca, y la actitud de sus parientes, a quienes no complacían estos extraños estudios, le hizo marchar de nuevo a Wittenberg, y más tarde a Rostock. Sus estudios astronómicos no eran, mientras tanto, totalmente desapreciados en su patria, ya que en el 14 de mayo de 1568, el Rey Federico II de Dinamarca le otorgó la próxima canonjía vacante, sinecura que le permitiría continuar sus investigaciones astronómicas en su propio país. Transcurrieron, con todo, dos años antes de su regreso; años durante los que construyó en Ausburgo, con la ayuda de sus amigos los hermanos Hainzel, un cuadrante con un radio de 14 cúbitos (unos 6 m.), un sextante, y un globo celeste de 1,50 m. de diámetro. Vuelto a Dinamarca no continuó su trabajo, por la razón que fuera, sino que se dedicó al estudio de la Alquimia, hasta que al salir de su laboratorio la noche del 11 de noviembre de 1572 acertó a ver una estrella de gran brillantez en Casiopea, donde, como él sabía muy bien, no había razón para que se encontrase tal astro. Dudando de sus sentidos, llamó a unos campesinos que se hallaban cerca para que le confirmasen lo que veía, y cuando no pudo dudar ya más de la realidad de la estrella, se dedicó a medir su posición. Desde aquella ocasión Tycho no perdió ya nunca interés en la Astronomía. Construyó instrumentos, introdujo en ellos artificios para hacerlos a prueba de error, determinó su error y estableció los límites de exactitud de los resultados; un procedimiento de observación único en su día. Su importancia en este caso fué que Tycho dejó establecido sin duda posible que el paralaje de la estrella era demasiado pequeño para que pudiese ésta estar a la distancia de los planetas, debiendo por lo tanto pertenecer a la esfera de las estrellas cuya inmovilidad había sido uno de los principios cardinales de la Astronomía desde sus orígenes. Nada hubiera podido colocar este importantísimo hecho fuera de toda duda sino una serie de observaciones cuyo grado de exactitud era muy elevado. Y más tarde, cuando apareció en 1577 un cometa, Tycho pudo mostrar por medio de mediciones precisas que el astro debía haber tenido que pasar a través del material de las esferas, suponiendo su existencia, con lo que quedaba hecha pedazos otra antigua ilusión.

Una vez terminado su trabajo sobre la nueva estrella, Tycho se dedicó a viajar extensamente por Europa, hallando un espíritu afín en Wilhelm, Landgrave de Cassel, astrónomo de no poca habilidad. Fué debido al Landgrave que el Rey Federico comprendió plenamente el valor de su súbdito, y cuando Tycho, durante una corta visita que realizó a su país natal en 1576, meditaba planes para establecerse definitivamente en Basilea, el Rey le hizo una oferta tan generosa que alteró dichos planes y decidió quedarse en Dinamarca. La parte principal del don real consistía de la isla de Hveen « con todos los colonos y servidores de la Corona que en ella viven, con todas las rentas y derechos que de ella se derivan y pertenecen a la Corona, para que las detente, usufructe, use y posea, libres y sin carga, durante el resto de su vida ». Se incluían también sumas de dinero para la construcción de un observatorio, y varias rentas que obligaban a Tycho a poco más que a ciertos deberes de carácter nominal. La oferta era demasiado buena para ser rehusada, y al finalizar mayo comenzaba Tycho a construir el observatorio que había de ser su hogar durante más de veinte años, y en el que había de llevar a cabo la mayor parte de su trabajo.

El edificio central, conocido por Uranieborg, estaba aproximadamente en el centro de la isla,

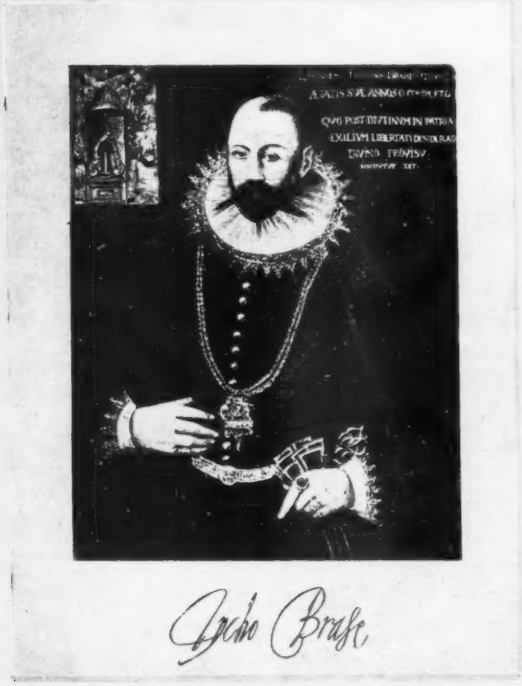


FIGURA 1 – *Tycho Brahe, según un retrato en el Observatorio Real de Edimburgo.*

FIGURA 2 – *El sistema astronómico de Tycho Brahe. La Tierra permanecía estacionaria, mientras el Sol y la Luna giraban a su alrededor. Los otros planetas se trasladaban alrededor del Sol y, con él, en torno de la Tierra.*

Ilustraciones de Tycho Brahe, *por J. L. E. Dreyer, publicado por A. & C. Black Ltd.*

construído en el estilo del gótico florido, a la sazón tan popular. Era en un principio el único edificio astronómico, pero en 1584 se erigió otro observatorio más al sur, al que se denominó Stierneborg. A la isla llegaron astrónomos de toda Europa, a trabajar con Tycho, y la labor allí realizada es la base de la Astronomía moderna. Las innovaciones de Tycho consistieron primeramente en el gran tamaño de sus instrumentos; en segundo lugar en su mejorado método de graduación — fué el primer astrónomo que utilizó el método de *transversales*, según el cual las graduaciones principales se hacían alternadamente en un par de arcos paralelos, uniéndose diagonalmente las marcas sucesivas que venían a formar un diseño en zig-zag (véase por ejemplo figura 4); en tercer lugar en un método muy mejorado de construir y colocar los « puntos de mira »; y finalmente, en la práctica, ya mencionada, de determinar lo más exactamente posible el error de los instrumentos. Sus contribuciones más sobresalientes, además de las destructivas que hemos mencionado ya (y a las que se puede añadir la prueba definitiva contra la creencia, largo tiempo mantenida, en un falso movimiento de las estrellas conocido por *trepidación*), incluyeron las observaciones muchísimo más exactas de las posiciones de los cuerpos celestes que las que hasta entonces se habían realizado, las primeras observaciones sobre el efecto de la refracción atmosférica en las posiciones aparentes, y el descubrimiento de la tercera y cuarta desigualdades (conocidas respectivamente por *variación* y *ecuación anual*) en la moción lunar y la fluctuación en la inclinación de la órbita de la luna respecto de la eclíptica.

Se diferenciaba Tycho de todos sus predecesores por realizar sus observaciones de una manera sistemática. Acostumbraban éstos a hacer observaciones ocasionales sobre la posición de los planetas, por lo general cerca del momento de oposición; pero Tycho los observó regular y sistemáticamente antes y después de la oposición. Y fué esta sistemática observación, combinada con el cuidado y exactitud con que era llevada a cabo, lo que permitió a Keplero deducir sus tres leyes de las mociones planetarias, y establecer así la base de la mecánica celeste; ya que la deducción de dichas leyes hubiera sido de todo punto

FIGURA 3 – *Uranieborg visto desde el E. La distancia N.–S. es de unos 30 m. y la altura mayor de 18 m.*

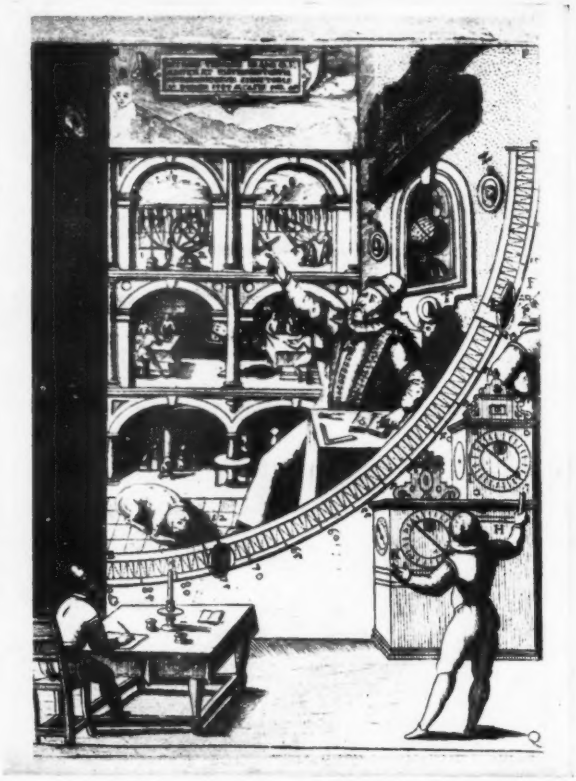


FIGURA 4 – *El gran cuadrante mural de Uranieborg. El instrumento consistía de un arco de latón de 2 m. de radio, dividido por transversales e insertado en el muro sobre el cual estaban pintados el retrato de Tycho y algunas de las maravillas de Uranieborg.*

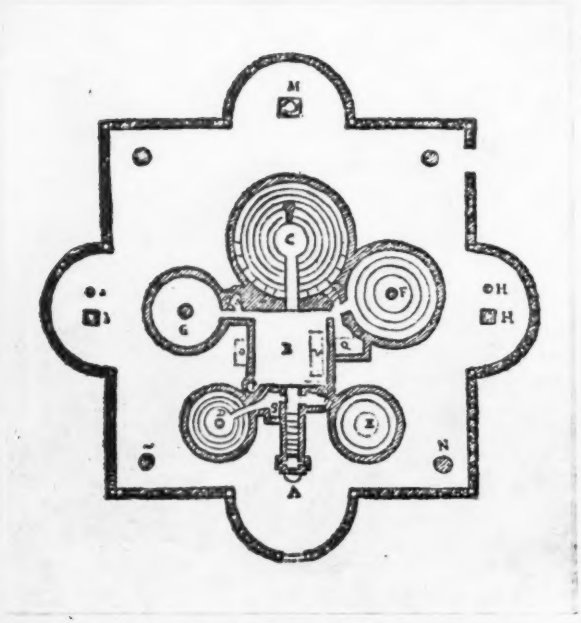


FIGURA 5 – *Plano de Stierneborg. C, D, E, F, y G son cámaras subterráneas de las que sólo el tejado se levanta sobre el suelo, con objeto de proteger los instrumentos contra el viento. O y Q son los dormitorios de Tycho y su asistente, y S es un pasadizo subterráneo, sin terminar, hacia Uranieborg.*

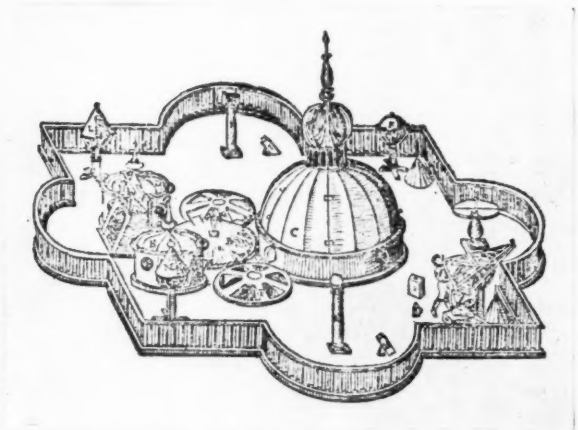


FIGURA 6 – *Stierneborg visto desde el O. Esta figura, con la 3 y 5 están copiadas del libro de Tycho,* Astronomiae Instauratae Mechanica (1598).

imposible a base de las meras observaciones hechas próximas a la oposición.

En general le interesaba Tycho menos la interpretación de sus observaciones que la adquisición de las mismas; fué a Keplero a quien correspondió mostrar la gran riqueza de conocimiento que en ellas se encerraba. Pero no sentía Tycho igual indiferencia hacia la gran cuestión de su época: la decisión entre las teorías ptoloméica y copernicana del universo. Y es muy posible que Tycho creyese que su propia solución a dicho problema era la más valiosa de todas sus contribuciones. Esta solución era una extraña avenencia entre ambas alternativas; todos los planetas, a excepción de la Tierra, giraban alrededor del Sol a la manera copernicana, pero el sistema así formado giraba a su vez alrededor de la Tierra, que permanecía inmóvil. En lo que se refiere al sistema solar dicha concepción es matemáticamente equivalente a la de Copérnico, pero no explica ni la aberración de la luz ni el paralaje anual de las estrellas. Sin embargo, tales fenómenos no le eran conocidos a Tycho, y éste, por lo tanto, creyó que había hallado la verdadera respuesta al problema central de la Astronomía; su ruego final a Keplero fué que interpretase las observaciones de acuerdo con su propio sistema y no con el de Copérnico.

La gran labor en Uranieborg alcanzó triste fin en 1597. A la muerte de Federico en 1597, su hijo Christian, que contaba sólo 11 años de edad, vino a caer bajo la influencia de ciertos nobles entre los que había algunos enemigos de Tycho; lo cual, unido, dicho sea en honor de la verdad, a la conducta un poco arbitraria de éste, creó una creciente serie de dificultades que hizo finalmente insostenible la posición de Tycho en Hveen. En marzo o abril de 1597 abandonó para siempre su histórico observatorio; sus instrumentos fueron desmontados poco a poco, y algunos de ellos enviados a Bohemia, pero la gran tarea estaba ya realizada. Los instrumentos fueron celosamente guardados por Curtius, después de la muerte de Tycho, no permitiendo su uso ni siquiera a Keplero, hasta que todos fueron destruídos en la guerra o por el fuego. De Uranieborg apenas quedan restos; cuando Gassendi visitó en 1647 la isla de Hveen en busca de memorias de Tycho, todos sus hallazgos quedaron resumidos en una sola frase: « Hay en la isla un campo donde se levantaba Uranieborg ».

Al abandonar Hveen, Tycho, tras algunos viajes, solicitó y obtuvo el apoyo del emperador Rudolph, quien le cedió el castillo de Benatky, sobre el Yser, a unos cincuenta kilómetros al norte de Praga, donde resumió sus observaciones con un número reducido de instrumentos. Le quedaba poco tiempo, sin embargo, y sus tareas en Bohemia son notables principalmente por la colaboración de Tycho y Keplero, que produjo resultados tan meritorios. La salud de Tycho empeoró gradualmente, falleciendo el 24 de octubre de 1601.

Como persona Tycho no era atrayente ni admirable. Era un tanto dictatorial, y no supo llevar a cabo las muy ligeras obligaciones que la generosidad del rey le demandaba a cambio de los privilegios recibidos. Sin embargo, su entera y desinteresada devoción a la Astronomía están fuera de toda duda, y debemos señalar en su favor que en una desgraciada disputa con Keplero, que era en general hombre de ánimo mucho más noble, es Tycho quien aparece en una luz mucho más favorable. Además, mientras se encontraba en Hveen tenía la costumbre de regalar medicinas que él mismo preparaba y en las que ponía entera confianza, debido a su eterna afición a la Alquimia. Tycho amaba el misterio y la ostentación, y en su observatorio de Uranieborg abundaban los resortes mecánicos y medios de comunicación imperceptibles con los que gustaba asombrar a sus visitantes. Escribió versos tolerables, algunos de los cuales, con otras pinturas, adornaban los muros de su observatorio. Ejemplo típico del ornado carácter del edificio eran el techo y las paredes del estudio de Stierneborg, donde aparecía el sistema ticoniano del universo y los retratos de ocho astrónomos, terminados con los de Tycho mismo y « Tychonides », un sucesor todavía nonato. En las inscripciones, Tycho deja su labor para el juicio de la posteridad expresando la esperanza de que Tychonides sea digno de su gran antecesor. Vivía en el laboratorio un enano llamado Jep, a quien Tycho arrojaba bocados desde la mesa, como a un perro. Jep, se decía, era vidente y había hecho profecías extraordinarias. Tycho era firme creyente en la Astrología y daba una defensa tan racional de su creencia como era posible en aquellos tiempos. No era en esto anormal, ya que la Astrología se consideraba entonces una ciencia universitaria, y sólo gentes excepcionales, como Copérnico parecen haber hecho caso omiso de ella; la descreencia declarada era casi inconcebible. En resumen, Tycho era producto típico del Renacimiento, una de las extrañas mezclas de lo medieval y lo moderno que tan confusas nos parecen hoy día.

La medida de la luz coloreada

JOHN W. T. WALSH

La comparación de las intensidades de la luz, cuando las fuentes son del mismo color, es susceptible de una gran precisión; pero para los fines experimentales y comerciales, se hace frecuentemente necesario comparar fuentes de color muy diferente. El problema se hace entonces mucho más difícil, debido a las diferencias de reacción de los observadores, especialmente cuando la luz es confusa. En este artículo se examinan la exactitud y las limitaciones de los métodos modernos de fotometría del color.

La medida de la luz se lleva a cabo, generalmente, por medio de un fotómetro, en el que dos superficies blancas iluminadas son comparadas por un observador que ajusta la iluminación de una o de las dos placas hasta que las encuentra igualmente brillantes. Cualquier notable diferencia de color entre las luces que iluminan las dos superficies hace el juicio más difícil e incierto. Sin embargo, el observador puede encontrar siempre una situación en la que la superficie *A* sea indudablemente más brillante que la superficie *B*, y otra en la que *B* sea ciertamente más brillante que *A*. Los métodos empleados en la fotometría heterocromática se han ideado con el fin de reducir en todo lo posible la laguna abierta entre ambas situaciones. El hecho de que esa laguna no deba exceder de tres milésimas, cuando no hay diferencia de color, da alguna indicación sobre el objetivo perseguido.

Desgraciadamente, además de la inseguridad que la diferencia de color introduce en el juicio de un solo observador, tenemos una gran diversidad en los resultados obtenidos por diferentes observadores. Esto se debe a la conocida variación de reacciones frente al color, incluso en individuos de vista normal. Por ejemplo, las dos superficies coloreadas mostradas en la figura 1 pueden ser juzgadas de igual brillantez por un observador de vista normal, mientras que otro requerirá, tal vez, que la brillantez de una de las dos superficies sea aumentada en un 30%, para considerarlas igualmente brillantes.

A fin de que las medidas de luces de diferentes colores puedan ser armónicas, se ha convenido internacionalmente en que los métodos empleados por la fotometría heterocromática, además de reducir la vaguedad de una medida, procuren adaptarla a los resultados que pudieran ser obtenidos por un observador que tuviera una reacción específica de «tipo medio» frente al color.

EL FOTOMETRO FLUCTUANTE

En el fotómetro frontal corriente, empleado cuando las diferencias de color son desdeñables, o muy pequeñas, las dos superficies se presentan la una junto a la otra. Pero cuando hay una marcada diferencia de color, se emplea con frecuencia un método de comparación muy diferente. Las dos superficies se alternan rápidamente ante la mirada del observador, de modo que éste vea primero una y luego otra. Al aumentar la velocidad, el campo de visión presenta una apariencia fluctuante. La fluctuación disminuye y finalmente desaparece por completo, al aumentar la rapidez en el cambio de las superficies. El ritmo está sometido al control del observador, que ajusta la iluminación de una o de las dos superficies hasta reducir al mínimum la velocidad bajo la cual desaparece la fluctuación. Si no hay diferencia de color entre las luces, el tipo mínimo de velocidad, bajo el cual desaparece la fluctuación, es relativamente bajo: aproximadamente, de unos diez o quince cambios por segundo. Una diferencia de color, sin embargo, produce fluctuaciones perceptibles a ese tipo de velocidad y a otros más altos, con arreglo a la extensión y a la naturaleza de la diferencia. El mínimum de la diferencia particular presente se halla a través de pruebas y ensayos, y entonces se hacen las observaciones con el fotómetro ajustado a ese tipo mínimo o a otro ligeramente superior.

Se ha comprobado que con esta clase de fotómetro, los resultados obtenidos por diferentes observadores son relativamente precisos y armónicos, siempre que se respeten ciertas condiciones respecto al tamaño y brillantez del campo de visión y a la provisión de un fondo permanente de brillantez similar. Pero, aun bajo las mismas condiciones, los diferentes observadores no obtienen exactamente los mismos resultados cuando la diferencia de color es muy grande, y en este caso es necesario seleccionar los observadores

FIGURA 1 – *La medida de la brillantez relativa de dos superficies coloreadas, como las que se muestran arriba, está sujeta a grandes inseguridades, aun para los observadores de visión normal del color.*

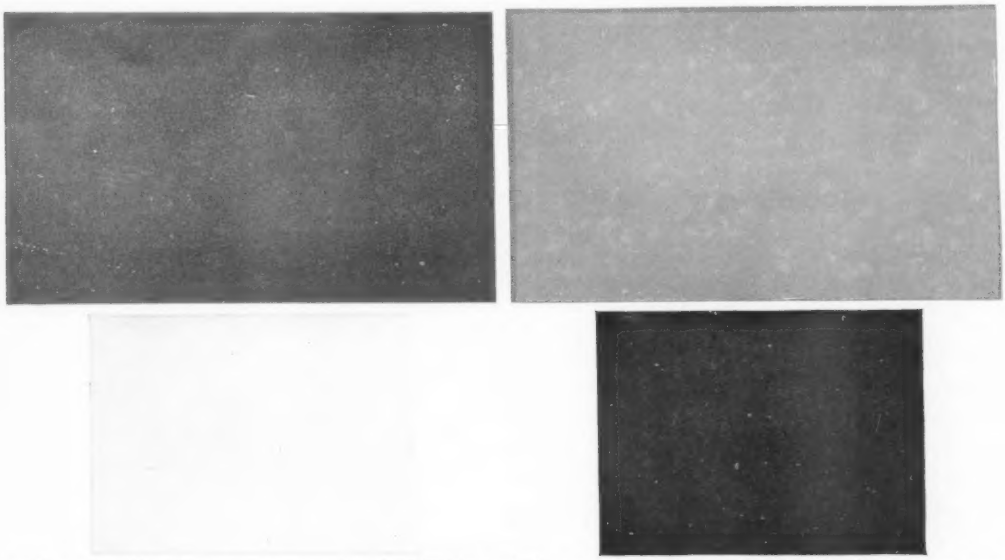


FIGURA 2 – *Las franjas grises muestran la brillantez relativa, a un bajo nivel de iluminación, de dos luces, una verde y otra roja, que aparecen iguales al nivel normal de iluminación.*

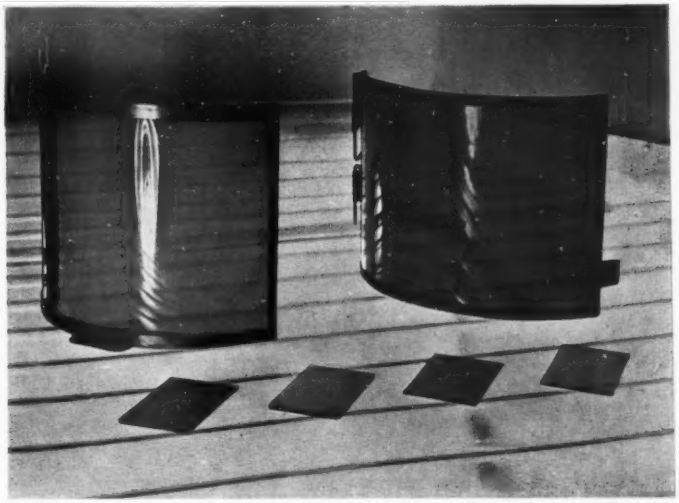
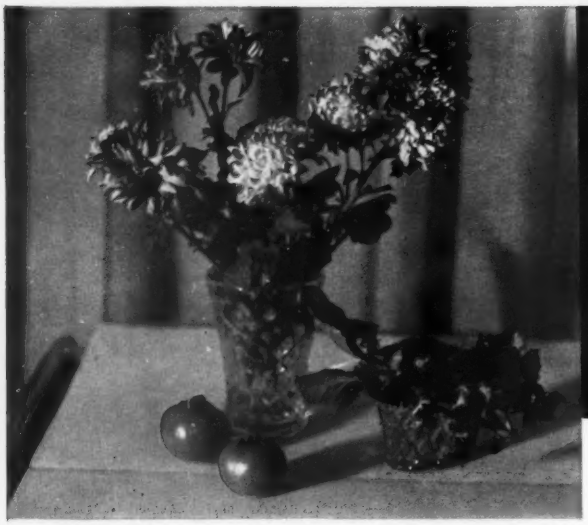


FIGURA 3 – *Los cristales corredizos de colores, usados para las luces de navegación de los barcos, y los cristales «límite» que se emplean para contrastarlos.*



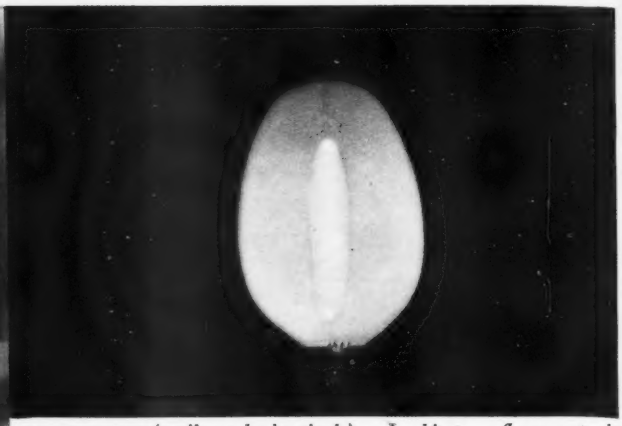


FIGURA 4*a* (*arriba, a la izquierda*) – *La lámpara fluorescente de mercurio de alta presión y algunos objetos de color iluminados por ella.*

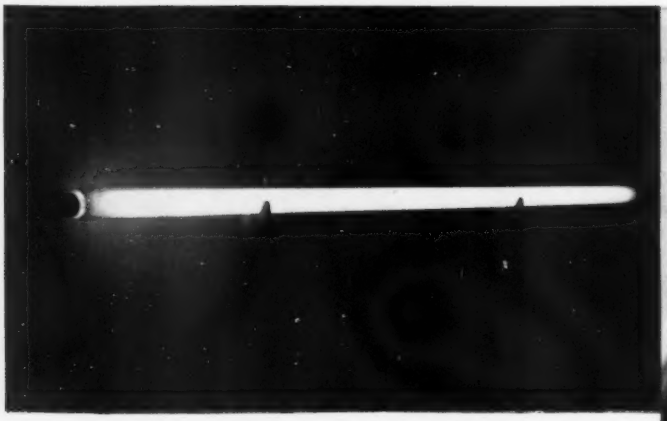


FIGURA 4*c* (*arriba, a la derecha*) – *La lámpara fluorescente tubular de luz del día y los mismos objetos de color iluminados por ella.*

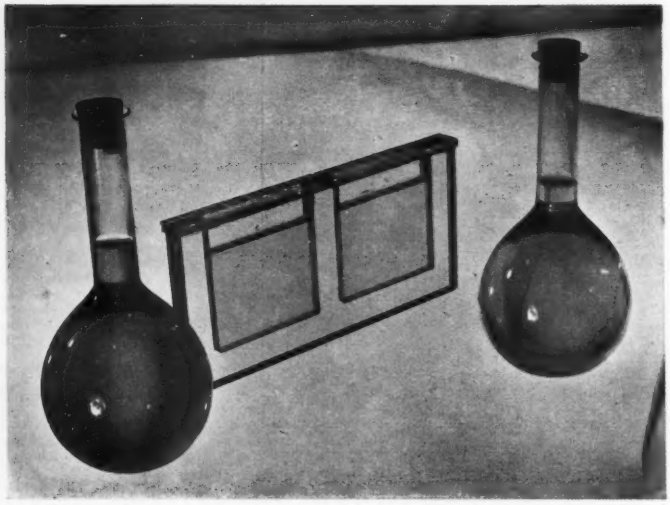


FIGURA 5 – *Las soluciones amarilla y azul usadas para medir la capacidad de un observador con respecto a las medidas de luces de colores.*

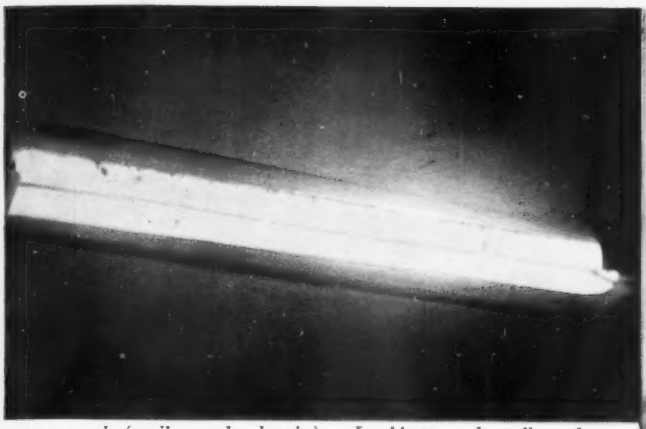
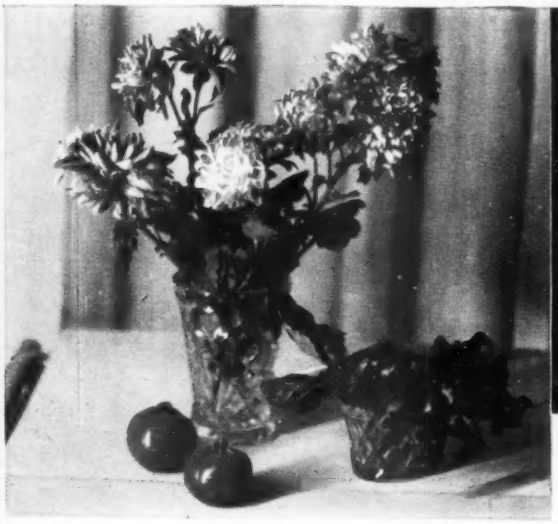


FIGURA 4*b* (*arriba, a la derecha*) – *La lámpara de sodio y los mismos objetos de color iluminados por ella.*



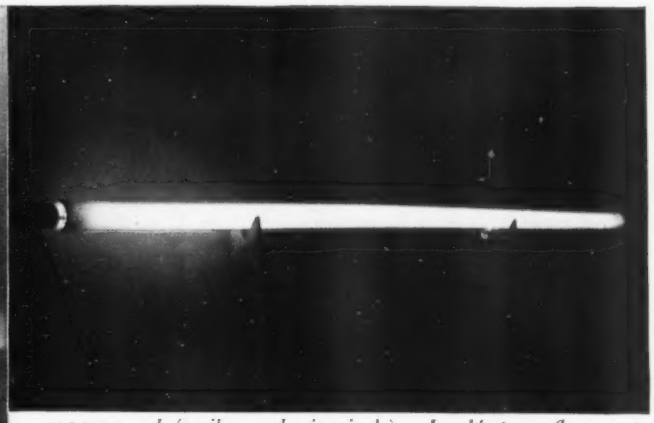


FIGURA 4*d* (*arriba, a la izquierda*) – *La lámpara fluorescente tubular de luz blanca-amarilla y los mismos objetos de color iluminados por ella.*

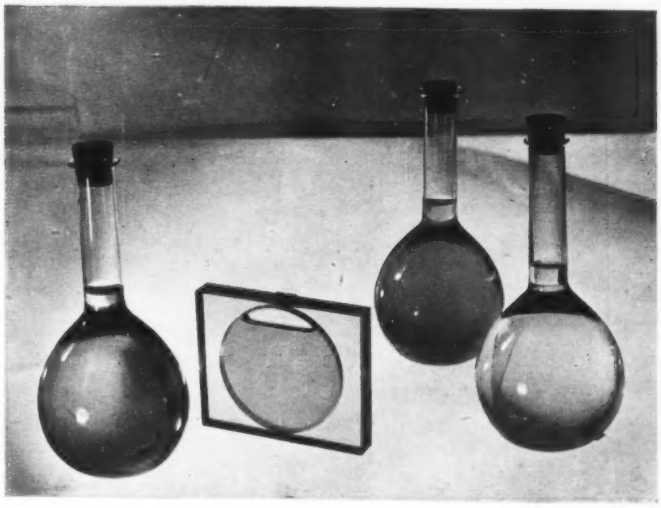


FIGURA 6 – *El filtro de líquido de color (y sus soluciones componentes) usado en combinación con una célula fotorrectificadora, para producir una reacción al color, similar a la del ojo « medio » humano.*

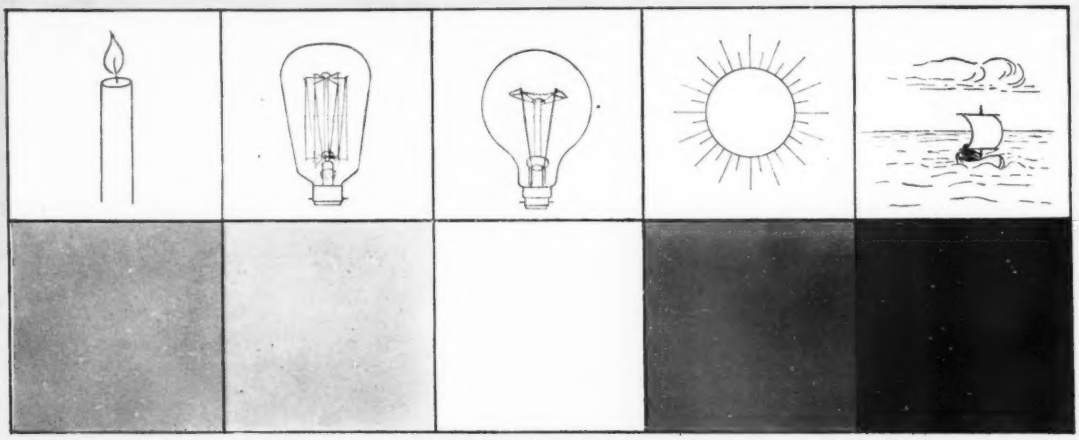


FIGURA 7 – *Las franjas cuadradas muestran los colores de la luz dada por diferentes iluminaciones ordinarias: una vela, una lámpara vacía de filamento de tungsteno, una lámpara de gas, el sol, el cielo azul. (Estas franjas deben ser miradas a la luz de una lámpara rellena de gas.)*

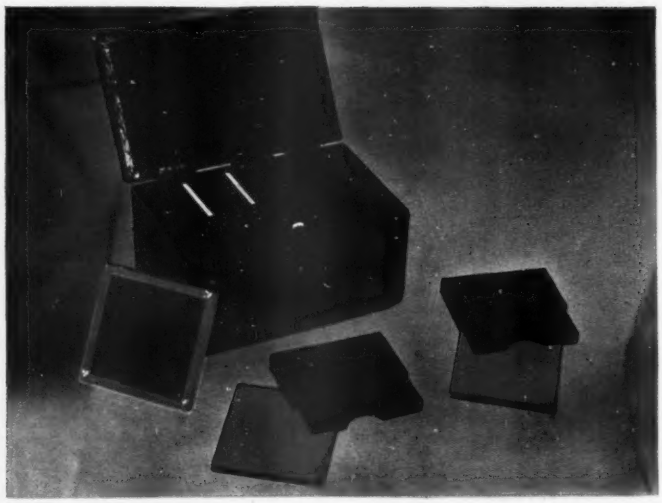


FIGURA 8 – *Filtros de color usados para medir fuentes de luz de diferentes colores.*

FIGURA 9 – *Células fotoeléctricas usadas para la medida de la luz. A la izquierda, una célula foto-emisiva; a la derecha, una célula foto-voltaica o rectificadora.*

entre aquellos cuya reacción frente al color sea muy aproximada a la del tipo señalado como observador « modelo ». A este fin, cada posible observador hace la medida de dos fuentes con una definida diferencia de color. Estas se obtienen mediante el empleo de dos líquidos, uno amarillo y otro azul, de composición y espesor determinados. La vasija de cristal doble que contiene las dos soluciones se representa en la figura 5. El observador ideal, utilizando un fotómetro fluctuante, verá que estas soluciones transmiten la misma fracción de luz proporcionada por una lámpara dispuesta a la manera de una lámpara de filamento de carbón. Un observador cuya visión no se desvíe de ese resultado en más de un 5% puede ser considerado como poseedor de una reacción al color satisfactoria para las medidas heterocromáticas ordinarias.

FILTROS CORRECTORES DEL COLOR

En vez de usar un fotómetro fluctuante, es más conveniente a veces suprimir la diferencia de color, por completo o en parte, utilizando un cristal de color o una solución líquida, que se interpone en el camino de una de las luces comparadas. Naturalmente, la fracción de luz que atraviesa el medio coloreado debe ser conocida. Generalmente se calcula mediante una curva que muestra el porcentaje transmitido en cada longitud de onda a través del espectro visible.

Este método se emplea para la fotometría de las lámparas de filamento de tungsteno u otras fuentes en las que la luz se produce elevando la temperatura de un cuerpo sólido, como el carbón o el filamento de metal, hasta ponerlo incandescente. Puede usarse también para medir la luz del día o la luz solar. La figura 7, vista a la luz de una lámpara corriente, gaseosa, de tungsteno, nos muestra aproximadamente el color de la luz emitida por semejantes cuerpos.

Los filtros correctores son, naturalmente, similares en color, y algunos modelos de los que se emplean se muestran en la figura 8.

LAMPARAS DE DESCARGA EN GASES Y LAMPARAS FLUORESCENTES

La reciente introducción de lámparas de descarga en gases, en las cuales se produce la luz por una descarga eléctrica que pasa a través del vapor de mercurio o de sodio, ha puesto aún más de relieve la dificultad de medir la luz cuando tiene un color muy pronunciado. La figura 4*a*, *b*, nos muestra algunas lámparas típicas de esta clase. Una novedad más reciente aún es la de las lámparas fluorescentes, en las cuales el color de la luz de la descarga de mercurio es alterado por una capa de polvo fluorescente, adherida a las paredes del tubo de cristal donde la descarga se produce. Dos lámparas de este tipo son ya de uso corriente. En una de ellas, el color de la luz se aproxima al de la luz del día; en la otra, es de un color blanco-amarillo.

La figura 4 nos muestra los colores de la luz emitida por cuatro tipos de lámparas. Cada uno de los cuatro pares de fotografías nos muestra unidas: (1) una de las lámparas mencionadas y (2) el aspecto de un grupo de flores, etc., bajo la luz de cada tipo de lámpara. La luz de tales lámparas se mide, o bien por medio de un fotómetro fluctuante, o bien usando filtros de color, especialmente diseñados para sintonizar con la luz coloreada, al ser colocados frente a la lámpara de filamento de tungsteno.

FOTOMETRIA FISICA

Para muchos tipos de medida fotométrica es posible usar una célula fotoeléctrica en lugar del ojo. Estas células son de dos tipos, que se nos muestran en la figura 9. La célula de la izquierda es de tipo fotoemisivo, y en ella, la luz que se ha de medir cae sobre una superficie de metal sensitivo, contenida dentro de una ampolla de cristal, que ha sido vaciada o que contiene un gas inerte a baja presión. La ampolla contiene también una malla de alambre que está conectada con el polo positivo de una batería, mientras que la superficie sensitiva se conecta con el polo negativo. El voltaje entre la superficie sensitiva y la malla de alambre es del orden de 50 voltios. Al caer la luz en la célula, se establece una pequeña corriente en el circuito, debida a la emisión de electrones por la superficie sensitiva, provocada por la luz que cae sobre ella. Bajo condiciones cuidadosamente controladas, esta corriente es proporcional a la luz que cae sobre la superficie sensitiva, de modo que el instrumento puede utilizarse para medir la luz.

El otro tipo de célula fotoeléctrica, mostrado a la derecha, en la figura 9, se funda en un principio diferente y se conoce con el nombre de célula « fotovoltaica » o, a veces, célula « rectificadora ». Consiste en una placa de hierro cubierta de una capa de material semiconductor (generalmente, selenio) que, a su vez, está cubierto por una capa muy fina de un metal como el oro o el platino. Cuando la luz cae sobre esta capa, una porción penetra hasta el selenio, y si la capa y la placa de hierro están conectadas al través de un instrumento

eléctrico de medir, sensitivo, se establecerá una leve corriente en el circuito. También en este caso, bajo condiciones adecuadas, la corriente es proporcional a la luz que cae sobre la célula. La ventaja de este tipo de célula consiste en su fácil transporte y en el hecho de que no necesita batería auxiliar, puesto que la corriente es generada por la transformación de la energía de la luz.

Como era de esperar, ninguna célula muestra una reacción al color similar a la del ojo « medio » humano, y aunque esto no tiene importancia cuando no hay diferencia de color entre las luces comparadas, se presta, naturalmente, a grandes errores cuando las luces son de distinto color. La dificultad se vence aquí también mediante el uso de filtros de color. En este caso, y hablando en términos generales, el filtro transmitirá bien los colores para los que la célula sea menos sensitiva que el ojo, pero nada bien los colores para los cuales la célula sea supersensitiva. Aunque cada célula difiere de las otras en su reacción al color, la diferencia entre las células del mismo tipo es muy pequeña, por lo que podemos mostrar un filtro corrector típico en la figura 6. El líquido contenido en el último filtro es de un color grisáceo y está formado por tres componentes simples, que se muestran separadamente en los tres frascos.

MEDIDAS EN LOS CASOS DE LUZ DEBIL

La reacción del ojo ante el color permanece constante mientras la brillantez de la superficie contemplada no esté por debajo de la usual en una habitación bien iluminada. Para una brillantez mucho más baja, como, por ejemplo, la de una superficie iluminada por la luna, la reacción ante el color cambia notablemente. A tales niveles, la sensibilidad del ojo ante la luz azul y verde, comparada con su sensibilidad ante la luz roja, es mucho más grande que en los niveles normales de brillantez.

La magnitud de este efecto aparece ilustrada en la figura 2. Para cualquiera que tenga una visión normal del color, las franjas roja y azul aparecen de una brillantez aproximadamente igual, vistas a la luz del día. Pero a un nivel muy bajo de iluminación, su relativa brillantez aparecerá, poco más o menos, tal como se nos muestra en las dos franjas grises estampadas debajo de aquéllas. Podemos hallar otra ilustración en la apariencia de un camino iluminado solamente por las luces del tráfico durante la noche. Estas luces son aproximadamente iguales en intensidad; sin embargo, el camino aparece mucho más brillante bajo la luz verde que bajo la luz roja.

PROBLEMAS ESPECIALES

Como ejemplo de un diferente tipo de medidas en los casos de grandes diferencias de color, podemos mencionar el control de los cristales corredizos de color, usados para las luces de navegación de los barcos. Mostramos dos cristales de este tipo en la figura 3. Es necesario que estos cristales no sean ni demasiado opacos ni demasiado ligeros, y a este efecto, se les controla comparándolos con pares de cristales « límite », representando uno de esos pares el más alto nivel, y el otro el más bajo de la transmisión permitida. Los cristales « límite » usados para este propósito aparecen también en la misma figura.

Otro ejemplo es la medida de la brillantez de las señales luminosas de los instrumentos indicadores en los aviones. Algunas de ellas son de material luminoso radioactivo, similar al empleado en los relojes iluminados ordinarios, y su color es verde azulado. Otros instrumentos de esta clase no arrojan luz en la oscuridad, pero cuando son iluminados por una luz ultravioleta, brillan con un color rojo anaranjado. La brillantez se mide comparando el instrumento en cuestión con un patrón del mismo tipo que se coloca frente a una lámina de cristal de ópalo u otra substancia translucente. Esta es iluminada por detrás con una lámpara, cuya potencia puede ser cambiada a voluntad por el observador. Se coloca un filtro frente a la lámpara para dar un color que sintonice con el del instrumento sometido a prueba, y el poder de la lámpara se ajusta hasta que el instrumento y el patrón presenten la misma brillantez. El patrón puede ser retirado entonces, midiéndose la brillantez del cristal translucente por medio de un tipo adecuado de fotómetro. El efecto del filtro puede ser anotado de dos maneras diferentes. Se puede medir la brillantez del cristal con el filtro retirado, multiplicando los resultados por el factor de transmisión del filtro, o se puede introducir un segundo filtro similar en el fotómetro, de modo que no haya diferencia de color al hacerse la medida de la brillantez. En este caso, el factor de transmisión del filtro es tenido en cuenta en la calibración del fotómetro.

El autor desea expresar su gratitud a su colega Mr. J. S. Preston y a Mr. E. B. Sawyer, Director del Lighting Service Bureau de la E.L.M.A., por su ayuda en la preparación de las ilustraciones.

El museo, instrumento de la ciencia

F. S. WALLIS

El valor cultural y educacional de los museos no se estima a menudo como se merece, debido a que no se reconocen las diferencias que existen entre los museos de hoy y los de hace sólo unos años. En este artículo, el Dr. Wallis describe los trabajos científicos que se llevan a cabo en los museos, haciendo además interesantes sugerencias para su futuro desarrollo. Director de un gran museo municipal, conoce perfectamente las dificultades con que tropiezan tales instituciones, pero sus opiniones revelan gran optimismo.

El término « museo » ha ido asociado durante largos años a la idea de polvo, suciedad e hileras interminables de ejemplares ordenados con cuidado meticuloso y sin alma. Y es, por lo tanto, muy difícil darse cuenta de la revolución que ha tenido lugar en los museos, transformándolos en sitios muy distintos de los que conocimos durante nuestra infancia. El nombre permanece intacto, pero las ideas y propósitos de los actuales curadores se hallan muy distantes de los de sus predecesores de hace quince o veinte años.

Los museos nacieron como la expresión sistemática y pública de la inherente tendencia humana a coleccionar y conservar cosas. Como puede claramente comprenderse, los objetos de Historia natural y de interés etnológico fueron los primeros que atrajeron atención, resultando en vastas y aparatosas colecciones de dichos materiales. Los que se hallaban a su cargo se preocuparon primordialmente de la adquisición y conservación de los materiales que se les confiaban y en segundo lugar de ordenarlos sistemáticamente. Esta segunda función era ejercida de manera estrictamente científica, de acuerdo con la última clasificación en uso. Y el resultado eran apretadas hileras de ejemplares, sin esfuerzo alguno por hacer más atrayente su exhibición, con lo que no es maravilla que los museos careciesen de toda vitalidad e inspiración. No les interesaba llamar la atención de ese árbitro final, el público, y, por consecuencia, carecían de los fondos y personal necesarios. A pesar de todo lo cual, los museos realizaron una labor muy provechosa, ya que su gran tarea era la de coleccionar, describir y exhibir el contenido del mundo. El sistema de Linneo suministraba la base de este inmenso inventario, en lo que se refiere a la Historia natural, utilizándose otras clasificaciones para la Antropología y Arqueología. La prueba de que dicha labor see llevó a cabo eficazmente la tenemos en la enorme masa de literatura descriptiva, una gran parte de la cual fué compilada, directa o indirectamente, por los miembros de la profesión curatorial.

El museo sirve a *todo* el público y es visitado por muy diferentes motivos. Hay los que lo usan como paraguas, que entran en él para escapar de un chaparrón intempestivo, y cuya presencia, a pesar de ser tan transitoria debiera ser amenizada con alguna exhibición interesante; en segundo lugar están las personas inteligentes e interesadas, miembros de alguna sociedad cultural local, y estudiantes que quieren informarse mejor de algunos aspectos de sus propios estudios; y por último se hallan los que tienen interés en realizar investigaciones en sus campos de estudio y especializaciones. En todo estudio de las relaciones entre la ciencia y el museo se deben tener en cuenta estos tres tipos individuales.

Los que se hallan hoy a cargo de la dirección y organización de los museos tienen conciencia, cada día más clara, de la necesidad de ampliar las funciones de colección y conservación de los museos, añadiendo las de instrucción y recreo. El material acumulado, a veces en vastas cantidades durante un período de más de cien años, debe ponerse al servicio educativo y recreativo de la comunidad. La reciente legislación sobre la educación en la Gran Bretaña establece claramente el propósito de ofrecer a todos la oportunidad de desarrollar sus facultades y de aprender más acerca de su prójimo y del ambiente en que viven; es ésta, por lo tanto, una excelente oportunidad para poner la Ciencia, en su más amplio concepto, al servicio del público. De todos los servicios públicos, el museo es el único que hace uso del método visual tridimensional de educación. La base del arte del curador de un museo estriba en hacer ver al público el objeto mismo, en vez de leer u oír frases que a él se refieren. Un objeto en un museo, acompañado de otro material relacionado con él y bien elegido, y provisto de

etiquetas cuidadosamente redactadas es una fuente de instrucción elocuente, si bien silenciosa. Teniendo todos estos factores en cuenta pasemos ahora a estudiar la manera en que pueden los museos desarrollarse en el porvenir como auxiliares de la Ciencia, sirviendo al mismo tiempo para acercar más al científico y al hombre lego, cuya separación tiende a aumentar a causa de la creciente especialización.

En primer lugar, pueden los museos utilizar su material presente para ilustrar e interpretar las ciencias más tradicionales — Botánica, Zoología y Geología — de acuerdo con las modernas ideas. Pueden mostrar a los interesados en ello que la ecología ofrece mayor interés que la taxonomía; lo cual es el desarrollo natural del previo período en la historia de los museos, dedicado a la colección y descripción. El vestíbulo del museo puede usarse para un gran diorama que presente una vista típica de la escenografía local con sus plantas y animales, siendo quizás posible incluir masas cuidadosamente seleccionadas de rocas y plantas locales, bien en modelos vivos o cuidadosamente preservados, con animales típicos en actitudes características. Una escena típica de la costa de Gower (figura 1) presentada en el Museo Nacional del País de Gales ofrece un ejemplo excelente de dicho tipo de presentación. En algunas regiones sería suficiente con uno de estos panoramas, pero en otras regiones más afortunadas que poseen diversos tipos de paisaje se necesitaría más de uno. Estos dioramas escénicos y ecológicos podrían además ir suplementados con grupos realistas que presentasen la civilización local en el período prehistórico e histórico, dentro, como es natural, de las posibilidades del museo. Tales exhibiciones en los vestíbulos, iluminadas de manera efectiva por medio de modernos tubos fluorescentes tendrían que interesar por necesidad al visitante que entra huyendo del chaparrón, y si éste fuese de suficiente duración, podría influir sobre su ánimo, haciendo que llevase consigo una impresión permanente de los principios básicos de la belleza del paisaje, y de la vida vegetal y animal con él asociada, en una parte, al menos, del territorio en que vive.

Aunque tales instalaciones tendrían cierto interés para el visitante inteligente, necesita éste algo más detallado, y dicha necesidad podría satisfacerse por medio de una serie de galerías en las que se presentasen los fundamentos de las ciencias tales como la Geología, Zoología, Botánica y Arqueología. Por medio de un planetario simplificado se puede hacer que el visitante conciba la Tierra como parte del sistema solar, mostrándosele gráficamente las inmensas distancias y el tamaño relativo del Sol, Tierra y otros planetas, introduciéndosele a continuación en el estudio de la Tierra misma. Los principios generales de la formación de las rocas, sus plegamientos y destrucción (figura 5) le son ahora presentados, junto con las formas de vida primitiva tomadas, si es posible, de ejemplos locales.

Puede pasar ahora el visitante — la dirección única debe ser esencial en el tráfico dentro del museo, aunque los impacientes corten la ruta por los atajos — a la sección de Zoología, eternamente popular. Y, de nuevo, no debe ser su finalidad la exhibición de un ejemplar, correctamente nomenclaturado, de la fauna regional, o — si los medios están a la altura de la ambición — de la mundial, sino más bien presentar todo el material que sirva para dirigir la atención hacia los principios básicos, relaciones y ejemplos típicos de los diversos géneros. Lo mismo que con los demás temas tradicionales de los museos, es importante insistir en la aplicación de la Zoología a la vida diaria. Este principio aparece particularmente bien ilustrado en una vitrina del Museo Nacional de Gales que trata de la vida animal en una ciudad, y de las alteraciones que puede sufrir a consecuencia de la moderna planificación.

En la Botánica se debe también resistir a la tentación de ofrecer un catálogo exacto y monótono de la flora del área determinada, haciendo todo lo posible por presentar las asociaciones naturales y la idea de que la planta es un organismo vivo. Una mesa con las plantas, silvestres o cultivadas, de la región, y otra que muestre experimentos sobre las plantas vivas son exhibiciones esenciales y de gran popularidad. La agricultura, horticultura y silvicultura ofrecen una gran riqueza de ideas para exhibiciones de este tipo. No puede repetirse bastante que el museo del futuro tratará más de ideas que de objetos; en él habrá galerías que sirvan de ilustración a temas tales como la evolución, la herencia, la conquista por el hombre de los materiales, y el transporte a través de los siglos (figura 4).

Tras este fondo general de ideas relacionadas con su ambiente, el visitante pasa naturalmente al estudio del Hombre y de sus obras. Este es tema vastísimo cuyo material aumenta de día en día. Dicha sección comienza, como es natural, con el estudio del Hombre mismo: el éxito conseguido en este punto por el Museo de Newark es extraordinario (figura 2). La mayor parte de los museos poseen ejemplares de los períodos

FIGURA 1 – *Exhibición en la Sección botánica del Museo Nacional de Gales, Cardiff, en la que se muestran plantas rocosas de la costa de Gower, sobre arenisca.*

(*Por cortesía del Museo Nacional de Gales.*)

FIGURA 2 – *La Sección « Hombre ». Interesante exhibición preparada según los métodos modernos, e indicando la construcción y funcionamiento del cuerpo humano.*

(*Por cortesía del Museo de Newark, New Jersey.*)

FIGURA 3 – « *El tiempo* », *exhibición de un tema meteorológico, que se considera generalmente material inapropiado para un museo. El Museo de Newark lo presenta con gran éxito, por medio de fotografías y simples diagramas.*

(*Por cortesía del Museo de Newark, New Jersey.*)

FIGURA 4 – *El transporte a principios del siglo XIX. Diorama de la Galería infantil del Museo de Ciencias, South Kensington.*
(Por cortesía del Museo de Ciencias, South Kensington.)

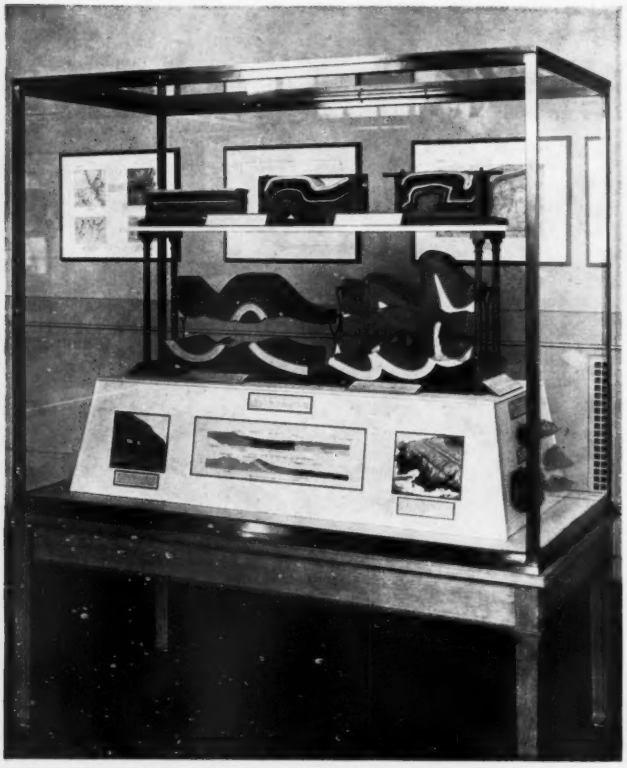


FIGURA 5 – *Modelos de la Sección de Geología del Museo Nacional de Gales, Cardiff, ilustrando la estratificación y plegado de rocas. La experiencia ha probado que tal clase de exhibición es perfectamente comprensible aun sin etiquetas.*
(Por cortesía del Museo Nacional de Gales.)

FIGURA 6 – *« Nuevos contactos cambian la cultura ». Exhibiciones, según la técnica moderna, de los cambios en varios tipos de artefacto: garrotas, pipas, cucharas, etc., presentadas contra cuatro zonas de tiempo.*
(Por cortesía del Instituto de Ciencia de Cranbrook, Michigan.)

es,
to:
po.
an.)

prehistórico y primitivo, junto con una superabundancia de material etnológico referente a las artes e industrias de varios pueblos primitivos. Tal material se presta muy bien a la exhibición segun los métodos más avanzados, y las técnicas ingeniosas que han caracterizado las exposiciones durante el tiempo de guerra patrocinadas por el Ministerio de Información y otras organizaciones deberán encontrar lugar apropiado en los museos de la post-guerra. Una interesante exhibición del Instituto de Ciencia de Cranbrook, Michigan (figura 6), que consiste de algunos ejemplares ordenados concéntricamente, indica que estos nuevos métodos de exposición se están poniendo ya en práctica. Debe evitarse la tendencia de mostrar largas series tipológicas, y la vida diaria del hombre ordinario durante los diversos períodos históricos — y en un gran museo, en las diversas partes del mundo — debe ser presentada con el mayor realismo posible. Durante los años últimos, los patronatos de los museos se han esforzado por presentar aspectos del pasado inmediato, introduciéndose mucho material folklórico; se estudia en este aspecto las artes e industrias de los últimos trescientos años, procurando reflejarse el estilo de vida y métodos de trabajo de nuestros antepasados. Es ésta una rama de la ciencia de enorme interés, que se halla todavía en el estadio de la recolección de datos, aunque comienzan ya a surgir algunas hipótesis tentativas y limitadas; tiene además un valor especial, ya que invita al visitante a realizar por sí mismo observaciones sobre temas intensamente humanísticos, habiendo inspirado a numerosos aficionados a coleccionar datos en su propia localidad. Para muchos, el museo es evidente demostración de que el primer estadio de la ciencia es la colección de datos y no la formulación de teorías o hipótesis.

Además del vestíbulo y las galerías generales de exposición, debe haber una serie de salas disponibles sólo para los estudiantes más serios. En ellas se hallarán instaladas la mayor parte de las colecciones, ordenadas con cuidadosa precisión y nomenclaturadas segun el sistema más moderno. Esta sección ofrece el material de investigación, otra de las funciones importantes de un museo avanzado. Y así, los temas del museo tradicional pueden exhibirse más de acuerdo con los resultados de la ciencia moderna.

El interés del público general en la Ciencia está cambiando de dirección hacia sus aspectos astronómico, físico-químico, médico, biológico y mecánico. La estructura atómica tiene mayor interés que las mariposas y los fósiles; y aunque algunos museos han exhibido material e ideas relacionados con dichos aspectos, es evidente que la mayoría de nuestras instituciones debe considerar seriamente la satisfacción de esta nueva demanda, aprovechándose así de la oportunidad de ser los instrumentos principales en la educación visual.

La Astronomía puede ser tratada también de manera mucho más detallada, debiéndose estimular el creciente interés popular que despierta esta ciencia. Además de los modelos ya mencionados, el museo podría exhibir otros modelos movibles y datos explanatorios para ilustrar temas tales como los eclipses solares y lunares. El desarrollo histórico de las ideas referentes a la creación de la tierra es también capaz de ser presentado plásticamente, lo mismo que el uso astronómico del telescopio y espectroscopio.

Al ocuparse de la Química, el museo debe prestar atención a las aplicaciones del conocimiento sistemático, especialmente en los procesos técnicos locales. El lego se interesa hoy en día por comprender más que por asimilar datos adicionales y curiosidades informativas sin relación ninguna con sus problemas individuales. Aunque muchos de los productos locales están expuestos en los museos de arte como obras artísticas, le corresponde al museo de ciencias mostrar los procesos técnicos que entran en su producción. Nuevos materiales, tales como los plásticos o el rayón, y los numerosos productos sintéticos que han surgido durante los últimos años, deben ser expuestos y explicados, con los principios generales de su fabricación.

El público se interesa hoy enormemente en las modernas teorías relativas a la constitución de la materia, como lo demuestra la gran popularidad de toda literatura sobre la bomba atómica. Gran parte de este tema, junto con los principios del análisis radiográfico, puede muy bien ser ilustrado plásticamente.

En múltiples asuntos, los museos pueden ofrecer el fondo histórico estable que suministra la base para la solución de los problemas del presente. Ello es particularmente cierto en Fisiología, Anatomía, Medicina, y aún en Psicología y Sociología. Los museos deben mostrar la manera en que una nación vive y trabaja para vivir, y como se la entiende con la naturaleza y sus productos. Las exhibiciones sobre la higiene y alimentación de una nación, los múltiples factores básicos previos a toda planificación municipal y regional, los procesos existentes en la preparación de nuevos materiales, todo ello se encuentra entre los nuevos temas, hasta ahora olvidados. En el

Museo de Newark, un tema no-objetivo, el tiempo, es el objeto de una exhibición (figura 3).

La iniciativa es el factor esencial del éxito en los museos de ciencia moderna. Diversidad, y no uniformidad, debe ser la tónica de los museos, como lo es de la nación británica. Los museos se encuentran hoy en un estado de transición de un pasado bien establecido, a través de un presente un tanto confuso, a un futuro de más estrecho contacto con la vida de la comunidad. Cada día que pasa la Ciencia alcanza un mayor dominio sobre la materia en todas sus formas, y es esencial que los museos se hallen en la vanguardia en el proceso de popularizar dicho conocimiento, informando al público, que evidentemente así lo desea, de todos los recientes avances científicos.

Tal concepción del museo como altoparlante de la ciencia moderna, en vez de un depositorio de fósiles y mariposas, requiere la estrecha colaboración de las sociedades científicas y de los especialistas, ya que sólo mediante su ayuda y consejo podrán los museos funcionar en los nuevos campos de conocimiento. Tales relaciones resultan en mutuo beneficio, puesto que mientras los museos informan al público del progreso de la Ciencia y de los trabajos de los científicos, sirven también a éstos para sus labores de investigación. La educación formal es un proceso que se completa y no se repite; pero la verdadera educación, que consiste en la consciencia y apreciación por el hombre de su propio ambiente, no se completa nunca; y es la interpretación plástica de este concepto de la educación lo que pueden los museos alentar y estimular. Mediante la completa captación de todo el ámbito de la Ciencia, los museos pueden ayudar grandemente a los estudiantes a descubrir y desarrollar un particular interés en una rama específica de los temas científicos.

El autor desea agradecerles a todos sus colegas que en conversaciones o por correspondencia han discutido con él las materias contenidas en este artículo.

Sir James Hopwood Jeans

Con gran sentimiento damos noticia del fallecimiento, el día 16 de septiembre, de SIR JAMES HOPWOOD JEANS, a la edad de 69 años. Jeans era universalmente conocido, no sólo por sus numerosas contribuciones originales a la Física matemática, sino también por sus lúcidas exposiciones de temas científicos en libros y artículos de popularización. Su carrera académica tuvo gran brillantez, contándose entre los cargos por él ocupados los de Catedrático de Matemáticas aplicadas en la Universidad de Princeton (1905–9), Profesor « Stokes » de Matemáticas aplicadas en Cambridge (1910–12), y Profesor de Astronomía en la *Royal Institution*, Secretario de la *Royal Society* (1919–29), Presidente de la *Royal Astronomical Society* (1925–7), Presidente de la *British Association for the Advancement of Science* (1934). Recibió honores de universidades y sociedades de todo el mundo.

Una de las más importantes contribuciones de Jeans en el campo de la Ciencia fué su confirmación de la ley de Lord Rayleigh para la radiación de los cuerpos negros. Reconoció, dentro de dicho campo, la importancia de la teoría de los quanta de Planck, utilizándola con gran ingenio para desarrollar sus propias teorías. Obtuvo también, en 1903, la primera prueba rigurosa de la Ley de Maxwell para la distribución de velocidades entre las moléculas de un gas. Pero aunque sus esfuerzos produjeron definidos avances en diversas ramas de la Física, lo que más fama alcanzó fueron sus investigaciones cosmogónicas. Las brillantes teorías sobre el origen de los planetas y sus satélites y de la fuente de radiación estelar han alcanzado amplia aceptación, si bien no universal. Su nombre será también recordado por su interpretación filosófica de la Ciencia moderna; y sus teorías filosóficas representan un esfuerzo valeroso y detallado para hallar la respuesta a problemas cuyas evidentes dificultades han desanimado a muchos de sus contemporáneos. Su muerte significa una gran pérdida para la ciencia británica, tanto más cuanto que se produce en el momento en que el rápido avance científico crea numerosos problemas filosóficos de gran urgencia. Jeans se interesó grandemente en ENDEAVOUR desde su incepción y era uno de sus colaboradores más valiosos.

La fluorescencia de los compuestos orgánicos

N. CAMPBELL

El estudio de la fluorescencia de los compuestos inorgánicos ha dado valiosa información para la comprensión de la estructura atómica y ha contribuído al desarrollo comercial de la iluminación fluorescente. En el campo de los compuestos orgánicos la fluorescencia tiene, así mismo, una importancia teórica y práctica. Aunque el problema fundamental de la relación entre la fluorescencia y la constitución química permanece sin resolver, su estudio ha conducido a la compilación de gran número de datos concernientes a dicho fenómeno.

La fluorescencia fué observada y dada a conocer hace un siglo; Boyle, por ejemplo, notó la coloración de los extractos de ciertas maderas. Posteriormente, otros investigadores, incluso el famoso físico escocés Sir David Brewster, cofundador de la *British Association*, estudiaron el fenómeno, pero a pesar de la excelencia de sus trabajos, poco fué el progreso realizado en el aspecto teórico. No fué hasta el año 1852 que Sir George Stokes atacó metódicamente el problema y dió una lúcida explicación sobre la verdadera naturaleza de la fluorescencia.

FLUORESCENCIA

La luz blanca está integrada por luz de diferentes longitudes de onda. En la región de las ondas cortas aparecen el violeta y el azul y en el otro extremo del espectro el rojo. La luz visible cubre, sin embargo, sólo una banda limitada de longitudes de onda; en las zonas inmediatas a los extremos del espectro visible existen otras radiaciones conocidas con el nombre de *ultravioleta* e *infraroja*.

A pesar de que la luz ultravioleta, al igual que otras radiaciones tales como las ondas hertzianas, es invisible para el ojo humano — por esto se la denomina a veces luz « negra » u « obscura » — su presencia puede detectarse de distintas maneras. Por ejemplo, por su efecto de obscurecer el cloruro de plata puede detectársela fotográficamente. Su presencia puede evidenciarse de forma más notoria por los colores, a menudo de gran brillantez, que se producen por su acción sobre ciertos minerales o compuestos químicos. De estos, uno de los más conocidos es el espato flúor (fluoruro de calcio), el cual fluoresce bajo la luz ultravioleta dando un magnífico color azul. Stokes observó este fenómeno y adoptó la palabra fluorescencia para designar este tipo de luminiscencia.

FLUORESCENCIA DE LOS COMPUESTOS ORGANICOS

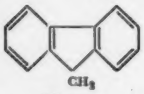
La forma más conveniente para la producción de la luz ultravioleta es por medio de la lámpara de vapor de mercurio, eliminándose las otras radiaciones visibles con apropiados filtros de vidrio. Bajo dicha luz la mayoría de los compuestos orgánicos emiten cierta fluorescencia, pero este fenómeno sólo puede observarse fácilmente en un reducido número de casos. A continuación damos una lista de los compuestos orgánicos fluorescentes más comunes.

Compuestos orgánicos fluorescentes bajo la luz ultravioleta

Benceno	*Violeta débil*
Estilbeno	*Azul-violeta*
Naftaleno (puro) ..	*Ligeramente violeta*
2 : 3-Dimetilnaftaleno ..	*Azul violeta*
2 : 7-Dimetilnaftaleno ..	*Violeta débil*
Antraceno (puro) ..	*Azul brillante*
Fenantreno	*Violeta*
Fluoranteno	*Verde brillante*
1 : 2-Benzantraceno ..	*Azul*
2 : 3-Benzantraceno ..	*Naranja*
Pireno	*Verde-amarillo brillante*
Criseno	*Violeta brillante*
Perileno	*Rojo anaranjado brillante*
Carbazol (comercial) ..	*Violeta brillante*
Carbazol (puro)	*Violeta débil*

Es interesante hacer notar que ciertos compuestos tales como el sulfato de quinina y el antraceno carecen de color bajo la luz ordinaria pero pueden descubrirse e identificarse por sus característicos colores fluorescentes bajo la luz ultravioleta. Hay que recordar, sin embargo, que la fluorescencia puede ser debida, y frecuentemente lo es, a la presencia de impurezas

otramente insignificantes. El ejemplo clásico de esto es el fluoreno, hidrocarburo del alquitrán de hulla, el cual fué primeramente separado por Marcellin Berthelot en 1867, en el curso de sus famosas investigaciones sobre los hidrocarburos pirogénicos. Berthelot dió el nombre de « Fluoreno » a esta substancia, debido a su elevada



Fluoreno

Carbazol

fluorescencia. No obstante, en estado puro muestra una fluorescencia casi nula. Una muestra comercial de esta substancia altamente fluorescente, después de purificada por medio de adsorción cromatográfica produce una substancia blanca no fluorescente.

El carbazol, de estructura química parecida, es otro compuesto generalmente considerado fluorescente. Se ha afirmado por fuentes autorizadas que muestras del mismo de un elevado grado de pureza poseían una brillante fluorescencia. Sin embargo, en nuestras investigaciones, hemos hallado que el carbazol sintético posee reducida o nula fluorescencia y que la adsorción cromatográfica elimina inmediatamente las impurezas fluorescentes del carbazol del alquitrán de hulla.

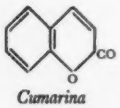
Las impurezas influyen en el color de la fluorescencia y a veces la destruyen completamente. Un ejemplo del primer efecto lo tenemos en el antraceno: este hidrocarburo posee una fluorescencia amarilla brillante cuando impuro, pero si se le purifica el color es entonces azul.

Una de las recientes contribuciones más notables de la Química orgánica a la Medicina fué el aislamiento e identificación llevados a cabo por Cook del compuesto carcinogénico del alquitrán de hulla. Este compuesto resultó ser el hidrocarburo aromático 3 : 4-benzopireno, cuyo aislamiento fué posible gracias a su fluorescencia característica. En las investigaciones sobre las vitaminas, la fluorescencia ha sido igualmente de gran valor. Por ejemplo, la vitamina A puede determinarse fácilmente por esta propiedad. Una preparación microtómica, fijada con formaldehido es sometida a la luz ultravioleta filtrada. Si la vitamina A_1 está presente, la preparación fluoresce con una coloración verde por unos segundos solamente, en tanto que si es la vitamina A_2 la que existe en los tejidos, la fluorescencia es rojiza. La riboflavina sólida emite una intensa fluorescencia amarilla brillante, en tanto que en solución acuosa es de un verde intenso.

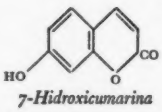
LA FLUORESCENCIA Y LA CONSTITUCION QUIMICA

Lo que más atrae al especialista en Química orgánica es el estudio del más elusivo de todos los problemas: la correlación entre las propiedades físicas y la constitución química. Se han escrito numerosos artículos sobre el color y la constitución química, y muchos investigadores han tratado de establecer la ligazón entre ambos pero, hay que admitirlo, sin lograr mucho éxito en la empresa.

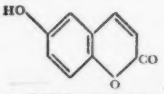
Haremos notar un par de reglas empíricas. La fluorescencia brillante se observa generalmente en los compuestos heterocíclicos y los policíclicos aromáticos. Esto puede notarse en la lista de la tabla anterior y en las fotografías en color. La fluorescencia depende también de la naturaleza y posición de los grupos radicales de substitución. Por ejemplo, la cumarina en solución alcalina no es fluorescente mientras que su derivado 7-hidroxicumarina (llamado umbeliferona) posee una bella fluorescencia azul. Su isómero 6-hidroxicumarina,



Cumarina



7-Hidroxicumarina



6-Hidroxicumarina

por otra parte, carece de fluorescencia a menos que esté disuelto en ácido sulfúrico. No existe ninguna explicación satisfactoria de tales hechos y no hay aún ninguna teoría general a pesar de la enorme cantidad de datos técnicos compilados.

FLUORESCEINA

La fluoresceína es quizá el compuesto fluorescente mejor conocido; su presencia puede ser observada a simple vista incluso en una disolución no superior a 1 : 40.000.000. Con la ayuda de aparatos de medida su presencia puede notarse en diluciones hasta de 1 : 200.000.000. Este hecho ha recibido numerosas aplicaciones. Una de ellas fué durante la acabada guerra, para el salvamento de náufragos. Las balsas no pueden ser fácilmente observadas desde un avión y por esto se las proveyó de una lata que contenía un derivado de fluoresceína. Al contacto con el mar se forma una mancha fluorescente de apreciables dimensiones que ayuda a la localización de la balsa por los aviones de socorro.

La fluoresceína ha sido también aplicada en investigaciones hidrológicas y de geología hidráulica. Por ejemplo, hace unos años en el agua potable de una ciudad de Sud Africa se descubrió la existencia de *B. coli*. Por medio de la fluoresceína

FIGURA 1 (*derecha*)

Compuestos fluorescentes sólidos.

1. Antraceno (puro)
2. Antraceno (bruto)
3. Benzopireno
4. Fenantreno
5. Pireno
6. Fluoranteno

FIGURA 2 (*abajo*)

Soluciones fluorescentes.

(*De izquierda a derecha*)

Ácido cumárico (solución alcalina)
Sulfato de quinina (agua)
Perileno (éter)
Perileno (benceno)
2 : 3-Benzantraceno (benceno)
Pireno (benceno)
Fenantreno (benceno)
Rodamina (glicerol-agua)

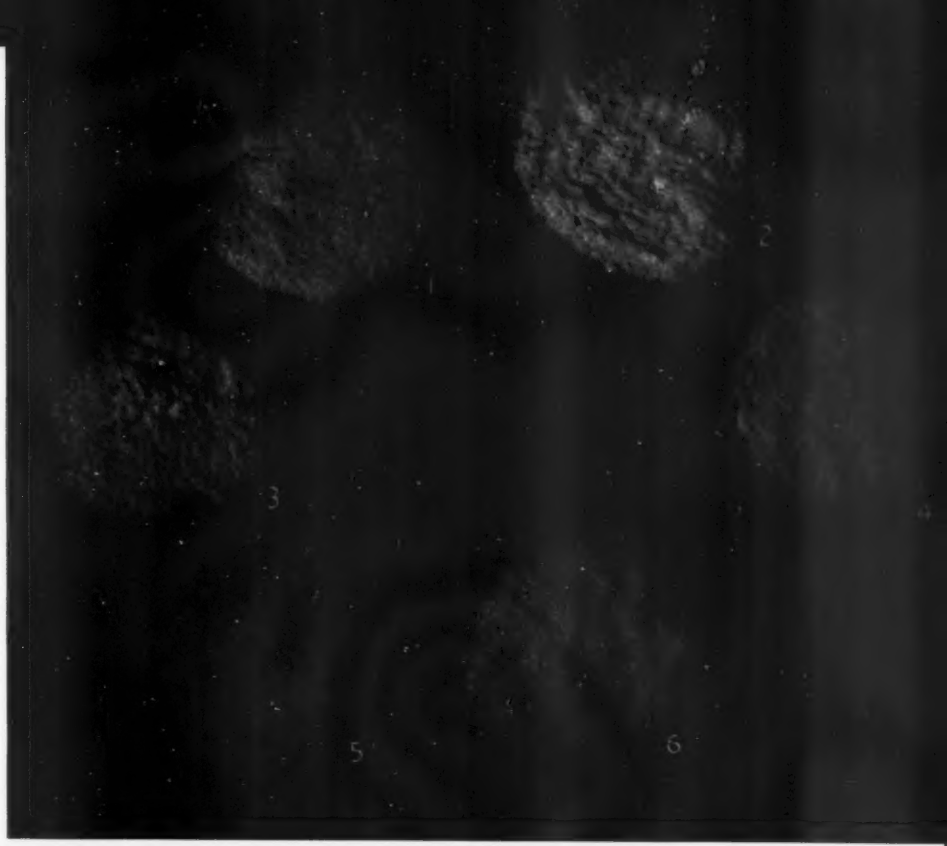


FIGURA 3a – *Fotografía que muestra la escritura visible a simple vista.*

FIGURA 3b – *Fotografía tomada bajo la luz ultravioleta de una lámpara de vapor de mercurio que muestra la escritura borrada químicamente.*

FIGURA 4a – *Calcetines fotografiados a la luz natural.*

FIGURA 4b – *Calcetines fotografiados a la luz ultravioleta. Las siluetas impresas por las monedas aparecen claramente.*

se encontró una fisura en la roca a través de la cual se infiltraba agua cenagosa que contaminaba la del suministro local.

De manera parecida se han descubierto conexiones subterráneas y pérdidas en los canales. Pero la aplicación más interesante y dramática fué la de Norbert Casteret, quien describió sus resultados en su atrayente libro « Diez años bajo tierra ». Desde 1787 hubo una gran controversia sobre el origen del río Garona en los Pirineos, el río del cual dependen los habitantes del Alto Garona, en Francia. Muchos geógrafos « teóricos » mantenían que el Garona nace en una gran fuente llamada Goueil de Jouéou, a una altitud de 1.390 m. Sin embargo, Casteret después de tres años de intensas exploraciones, llegó a la conclusión que el Goueil de Jouéou estaba alimentado por el Trou du Toro, un torrente en lo alto de los Pirineos y a algunos kilómetros de distancia. Esta atrevida teoría había sido ya discutida anteriormente pero nunca fué comprobada. Casteret solucionó la cuestión, una vez para siempre en 1931, vertiendo 55 kg. de fluoresceína en el Trou du Toro a las ocho de la tarde de un día del mes de Julio. A los pocos segundos el torrente mostró la fluorescencia característica. Claro que Casteret no tenía la intención de producir bellas cascadas de colores y con sus ayudantes se trasladó rápidamente al Goueil de Jouéou. A las seis de la madrugada siguiente observó con la consiguiente satisfacción que empezaba a mostrar también una brillante fluorescencia verde.

El descubrimiento de Casteret tuvo un interés no solamente académico sinó económico, ya que había sido presentada una petición para desviar las aguas del Trou du Toro hacia España para fuerza hidráulica. El descubrimiento de Casteret dió por resultado el abandono de aquel proyecto; de no haber sido así el caudal del Garona se hubiera reducido a la mitad, con lamentables consecuencias para los franceses.

INVESTIGACIONES CRIMINOLOGICAS

Muchos objetos que a la luz ordinaria atraen poca o nula atención, en cambio bajo la luz ultravioleta fluorescen de manera distinta, y por lo tanto no es de extrañar que la fluorescencia haya sido un gran auxilio para la investigación criminal. Las llamadas tintas « simpáticas » se destacan perfectamente en la luz ultravioleta y las borraduras por medios químicos pueden apreciarse instantáneamente con dicha luz. Muchos sellos de correo tienen mayor valor para los coleccionistas sin las marcas del matasellos; por eso sellos usados son adquiridos por hábiles expertos para eliminarles las marcas, de forma que incluso una inspección cuidadosa no revele nada irregular; sin embargo tales enmiendas aparecen con claridad bajo la lámpara ultravioleta. Las perlas naturales pueden diferenciarse así mismo de las perlas artificiales, pero no pueden serlo, claro está, de las perlas cultivadas. Dicho sea de paso: la fluorescencia carece de respeto hacia las personas; bajo los rayos reveladores de la luz ultravioleta los tintes del cabello producen una viva fluorescencia, lo que ha hecho confesar a más de una rubia su deuda a la química en general y al agua oxigenada en particular.

Los polvos fluorescentes han dado una gran ayuda en dos casos investigados por la policía de Edimburgo.

En distintas ocasiones se había observado la desaparición de dinero de un pupitre cerrado a llave, y las sospechas recayeron sobre cierta persona. Se decidió colocar en el mueble unas monedas, algunas de las cuales habían sido espolvoreadas con antraceno y las restantes con otro polvo fluorescente. Más tarde se encontró que faltaban 17 chelines, en vista de lo cual los detectives visitaron a la persona de quien se sospechaba, la que no tuvo inconveniente en permitir ser registrada. No se le halló encima ninguna moneda, pero bajo la luz ultravioleta se observó una comprometedora fluorescencia en los bordes de los bolsillos de los pantalones. Sin embargo, sólo se logró que confesara su delito al examinar el zapato y calcetín del pié derecho bajo la luz ultravioleta, que mostró unas marcas fluorescentes en el interior del zapato y unas manchas circulares bien definidas en el calcetín (figura 3). Cuando se descubrieron las monedas, mostraban aún una fuerte fluorescencia.

La figura 2 muestra claramente que la licencia hallada en un coche de Edimburgo que aparecía referirse a un coche de 14 C.V., marca Vauxhall, negro, había sido de hecho expedida para un coche de 9 C.V., marca B.S.A., verde. Debido a esto se iniciaron investigaciones que condujeron al arresto de los ladrones quienes habían robado la licencia en Londres y hacían uso de un coche alquilado en aquella otra ciudad. Al ser detenidos se les hallaron dos botellas de líquido para borrar, bajo la luz ordinaria, la tinta de las partes manuscritas de la licencia.

NOTA. Queremos dar las gracias al Jefe de Policía de la Ciudad de Edimburgo por su amabilidad en facilitar información y fotografías.

Los valores científicos

E. F. CALDIN

Grande ha sido el interés despertado por el artículo de Mr. Caldin sobre la función social de la Ciencia, que publicamos en nuestro número de Abril del corriente año. En el presente artículo el mismo autor estudia la relación entre la Ciencia y los valores filosóficos de la verdad, la bondad y la belleza. En la época actual tales estudios poseen una significación especial ya que la intensa concentración sobre el aspecto material de la Ciencia ha revivido problemas filosóficos de importancia internacional.

Dos grupos de valores se asocian por lo general con la Ciencia. Uno de ellos se refiere a las ventajas que en el campo del bienestar material cabe esperar de la Tecnología fundada en la Ciencia. El otro se relaciona con los valores intrínsecamente científicos. En este artículo trataré de estos últimos, o sea el valor que tienen la ciencia natural y la vida científica para los amantes de la ciencia, en tanto que se las considera en sí mismas y no como medio de mejora de las condiciones materiales.

Voy a suponer que podemos asesorar el valor del conocimiento científico considerando el punto hasta el cual la imagen de la naturaleza que nos ofrece se caracteriza por su verdad, bondad y belleza, y, aún más, hasta dónde nos revela dicha imagen los « valores» correspondientes de la naturaleza material. Evidentemente la verdad está relacionada con el conocimiento, y la bondad con la estimación. La belleza está íntimamente relacionada con los dos valores anteriores, y podemos decir que las cosas son bellas en tanto que su verdad y bondad aparecen diáfanas en nuestra mente, de manera que sus formas sean aprehendidas intuitivamente. Una persona amiga es bella para nosotros — más bella, digamos, que una piedra — en tanto que tenemos noción intuitiva del carácter de la misma y nos complacemos en él. Concebimos a un amigo como una unidad, una persona, y no como una serie de episodios o acciones; y esto de manera intuitiva y no por razonamiento discursivo. Y así la belleza es cierta especie del bien, derivada de cierta especie de conocimiento, estando íntimamente ligada con la bondad y la verdad. Además puede decirse que la verdad, bondad y belleza dependen todas de la *forma*: orden, disposición diseño, unidad. Una cosa es tanto más fácilmente conocida y más estimable cuanto más desarrollada tenga su forma — un amigo más que una ardilla, una ardilla más que una guija. Es en su forma en lo que estos niveles de existencia — humano, orgánico, inorgánico — difieren entre sí. La materia es la misma para todos, pero la forma humana tiene un alma racional y por lo tanto más elevada que la forma orgánica, la cual, a su vez, es capaz de crecimiento y reproducción y, por ende, más elevada que la de la naturaleza inorgánica. Las formas más elevadas son a la vez más fáciles de conocer y más estimables; y puesto que, una vez intuídas o aprehendidas nos dan un mayor placer, resultan asimismo más bellas. La gradación sucesiva de las formas nos permite asesorar los valores.[1]

Podemos aplicar este argumento a la belleza en el Arte, y en primer lugar a las bellas artes. Voy a asumir que dichas artes están relacionadas con una forma *significativa:* el artista debe seleccionar y destilar los datos adquiridos por experiencia, de tal manera que la forma que cree produzca una visión intuitiva de algo real. Lo que a primera vista nos deleita de una obra de arte es el conocimiento intuitivo de su forma. Si la realidad que aquella forma intenta representar es asimismo estimable, estaremos mayormente satisfechos, debido a la adicional belleza que nos es dado disfrutar a través de la obra de arte. Encontramos bello un retrato, como tal, debido a que vemos en él, condensado en una sola forma, el complejo total de un carácter, de una vida humana; si el carácter es asimismo estimado tendremos una satisfacción complementaria por su belleza revelada a través del arte.

Evidentemente, cuanto mayor sea la amplitud y profundidad de la experiencia que le sirve de base, tanto más importante será la obra de arte. La obra de arte es más grande, además, cuanto mejor se ajuste su forma externa a la realidad que intenta representar. En proporción con la realidad

[1] Cf. J. Maritain, *Art and Scholasticism*, etc.; y diferentes autores, en el resumen de la colección de textos de E. F. Carritt, *Philosophies of Beauty*.

representada, la forma debe poseer una complejidad unificada, una riqueza ordenada, una variedad dentro la unidad. Esta variedad dentro la unidad será, ciertamente, una clave que es aplicable si nos referimos a la belleza en Filosofía, en Literatura, en Ciencia. No es en sí la belleza entera, pero sí la mejor característica para estimar la belleza cuando asesoramos el valor de una estructura intelectual.

Volvamos ahora a la ciencia natural y a la naturaleza material que es la fuente de donde obtenemos los datos. Podemos considerar la Ciencia como análoga a una obra de arte, en tanto que posee su forma propia, estructurada para revelar o significar la forma de la naturaleza (o mejor, su aspecto cuantitativo). Podemos considerar, en primer lugar, la Ciencia como una sistematización de datos sensoriales, una unificación de cantidades mensuradas.[1] Las medidas son llevadas a una relación racional entre ellas por medio de una dependencia funcional y estas leyes empíricas están regidas por leyes más generales. A su vez estas leyes están unificadas por la interpretación teórica, de la cual (si fuera completa) las leyes teóricas podrían ser deducidas y por ende el comportamiento de los sistemas experimentales. En esta unidad, en esta forma, podemos encontrar la belleza de la Ciencia; en esto consiste la armonía, la variedad en la unidad que la caracteriza. Es una unidad en la cual están combinadas las medidas de diversos fenómenos, leyes empíricas e interpretaciones teóricas de generalidades de toda especie; unificadas todas ellas, en tanto que pueden deducirse como casos particulares de la interpretación teórica general. La unidad no es cuestión solamente de rigor lógico en la interpretación teórica (análogo al rigor lógico de las matemáticas); es una unidad más rica, ya que las observaciones experimentales de los sistemas materiales se hallan unificadas en su armazón lógico en tanto que son deducciones de tal armazón y se hallan de acuerdo con él. Este es el significado de la variedad-dentro-de-la-unidad característica de la ciencia natural.

Podemos considerar, sin embargo, a la Ciencia no meramente como un esquema unificado, sino como fuente de creencias racionales sobre la naturaleza material. Puesto que posee un orden lógico y está basada en el conocimiento de la naturaleza material, es evidente que nos presenta una imagen del orden de la naturaleza; de su forma y de la interdependencia causal de las cosas y acontecimientos. Pero el esquema científico con orden meramente lógico no puede darnos cuenta del orden de la naturaleza, el cual debe ser causal y no lógico. Parece ser que en la Ciencia el orden causal de la naturaleza queda simbolizado por el orden lógico del esquema teórico, esto es, simbolizamos la causalidad por la deductibilidad.

Si consideramos el método científico, vemos que la ciencia física debe contentarse más bien con reflejar, que no describir, la forma de la naturaleza. En la observación física tenemos dos limitaciones. En primer lugar nos ceñimos a la naturaleza material; omitimos todo lo relativo a los actos humanos — tales como del agente experimentador humano y de la causa suprema, Dios, que mantiene la existencia de la naturaleza. En segundo lugar estamos limitados por los aspectos mensurables del objeto material. Así hallamos que hay relaciones entre las cantidades medidas (tales como longitud y temperatura) que pueden expresarse por medio de ecuaciones, y sobre dichas ecuaciones elaboramos una interpretación teórica que las unifique. Claro está, que este esquema teórico será matemático, ya que debe establecer una unidad entre una serie de ecuaciones; en sí mismo será un sistema de ecuaciones del cual pueden deducirse relaciones experimentales. En consecuencia el sistema admitirá solamente inferencias y deberá despreciar las causas. Es evidente que la razón por la cual el esquema es matemático es que al principio nos limitamos a considerar características mensurables. Por tanto las limitaciones del esquema teórico, como fuente de creencias sobre la naturaleza, son debidas al propio método de la ciencia física.

La Ciencia no es, entonces, una descripción adecuada de la naturaleza; es un retrato pintado por un observador con un punto de vista particular y un campo de visión limitado. Por la ciencia natural no nos es dable conocer cuál sea el fin de la naturaleza material, el cómo y por qué de su existencia, y la razón de que tenga sus propias leyes. En la medida que podemos dar respuesta a estas preguntas, lo hacemos en términos de un examen más amplio, hecho explícito en Filosofía y en Teología, expresado concretamente en Poesía, sentido y vivido profundamente en los éxtasis de unos pocos ante la naturaleza. « El hombre de ciencia que desee utilizar su conocimiento especializado para alcanzar la sabiduría absoluta, deberá primero completarlo transformándolo en el pleno conocimiento de la

[1]Me refiero en todo esto a la ciencia física, pero la situación sería fundamentalmente parecida para otras ciencias.

naturaleza, no en todos sus detalles, pero sí en todos sus aspectos».[1] Nosotros reconocemos tal sabiduría como buena en sí misma — un meritorio aspecto de las múltiples facetas del buen vivir. Además es útil para poder saborear la vida; puesto que para vivir racionalmente el hombre debe discernir su situación; debe poseer cierto conocimiento de la naturaleza, la humanidad y Dios. Más generalmente, la Ciencia nos abre una ventana hacia la vida; mediante ella adquirimos una mejor noción de la verdad, bondad y belleza, debido a que nos proporciona un campo más amplio de ejemplos para poder cotejar. La Ciencia agranda nuestra concepción de la vida. Pero solamente será así si examinamos sus presuposiciones y escudriñamos sus deficiencias, de otro modo, puede cerrarnos las ventanas una tras otra.

Hasta aquí he tratado de los valores de la Ciencia en tanto que conocimiento. Pero la *vida* científica tiene sus propios valores, los cuales están sólo determinados parcialmente por los valores del conocimiento científico adquirido. Hay otras facetas en la satisfacción del hombre de ciencia que son secuela de su propio trabajo.

Primeramente, la vida científica es una versión simplificada, o microcosmos, de la vida racional. Este punto de vista fué ya desarrollado en un artículo anterior:[2] simplemente, sugería yo que la vida científica requiere (*a*) un interés inquisitivo para establecer los hechos y (*b*) un esfuerzo para interpretarlos y sintetizarlos, y por lo tanto (*c*) una unidad de pensamiento y de acción; que (*d*) es un ejemplo de una tradición en desarrollo, deseosa de novedad y tenaz para el establecimiento de la verdad; que (*e*) se requiere una libertad y, al mismo tiempo, un cierto respecto hacia la autoridad, y que (*f*) es en parte una empresa social y en parte individual. Otra característica peculiar de la Ciencia es que (*g*) la vida científica requiere una habilidad manual e intelectual a la vez.

Hay que creer que cuando uno siente una «inclinación» hacia la Ciencia es porque su temperamento y habilidades caen dentro de tal versión de la vida racional. Toma gusto en la solidez de los datos científicos, el equilibrio entre la teoría y los hechos, la facilidad con que pueden ser comprobados. Gusta de la inacabable novedad en la interpretación contrapuesta sobre el fondo sólido de los hechos; el equilibrio entre cambio y estabilidad, de fundamentadas presuposiciones y nuevos movimientos que rompen los lazos establecidos. Disfruta de la mezcla de libertad para presentar nuevas pruebas y las teorías originales que sobre ellas se puedan basar, con el respecto debido a la autoridad de los resultados ya probados de antiguo. Se complace con un trabajo manual equilibrado con otro intelectual. Si es, por caso, un hombre de ciencia excepcional, su mayor placer radica en el progreso creador que se basa en un equilibrio entre el estricto raciocinio y la imaginación intuitiva. Si la vida científica es una versión de la vida racional, puede servir, hasta cierto punto, como escuela de la misma; puede utilizarse para demostrar algunos de los principios del procedimiento racional en general. La facultad especial para este propósito (que es también una expresión de sus limitaciones) es que no requiere una madura sabiduría o conocimiento del mundo, y, no obstante, conduce la mente a un pensamiento lógico e insiste en la necesidad del trabajo experimental y una completa fidelidad al mismo al formular una teoría. Además sugiere problemas que sólo pueden ser resueltos filosóficamente — el problema de la validez de su propio método, por ejemplo. Ciencia y sabiduría, no deben por lo tanto, estar completamente desligadas en la vida del científico.

No sólo la inteligencia puede desarrollarse por medio de la vida científica, sinó que también la voluntad. La Ciencia impone una disciplina que puede grabar profundamente el carácter y estimular la inteligencia. La Ciencia, al igual que todo trabajo intelectual, exige — según von Hügel — «coraje, paciencia, perseverancia, candor, simplicidad, desinterés, continua generosidad para con los demás, corrección voluntaria de los puntos de vista propios, incluso los más queridos».[3] Como todo estudio, la Ciencia pide una doble atención a los hechos en bruto y a la interpretación sintética de los mismos; y así nos prohibe limitar nuestro interés a nuestro propio ser y egoistas deseos, dirigiéndolo hacia afuera de nosotros mismos. Pero para los hombres de ciencia existe una disciplina especial. La materia se comporta de manera perversa, y difícilmente de acuerdo con nuestros deseos; la técnica de la investigación experimental requiere un batallar duro y pertinaz. A la Naturaleza parece importarle poco que la comprendamos o no; guarda celosamente sus secretos, y sus hechos destruyen nuestros teorías. El contacto con estos «hechos brutales y férreas leyes» dió a von Hügel la base de un ascetismo moderno científico, hallando, en la sujeción a tal

[1] F. Sherwood Taylor, *The Fourfold Vision*, capítulo 6.

[2] ENDEAVOUR, Abril 1946.

[3] *Mystical Element of Religion*, Vol. II, pág. 349.

disciplina, la fuerza descentradora y anti-subjetiva que consideraba necesaria para alcanzar la vida justa.

La Ciencia, por lo tanto, puede ayudar a estimular la inteligencia y es una disciplina de la voluntad. En este respecto influye sobre el buen vivir. Pero no puede realizar esto por sí sola; únicamente podrá hacerlo si ocupa su propio lugar dentro de una educación liberal y una cultura abierta. El verdadero papel de la Ciencia como escuela de vida racional depende de su adaptación como matriz de otros estudios y otras actividades. La Ciencia por sí sola no proyecta ninguna luz sobre su propio valor ni tampoco sobre los valores en general. No es la avenida principal hacia toda suerte de conocimientos.

Revista de libros

LA CORROSION METALICA

Metallic Corrosion, Passivity and Protection, *por Ulick R. Evans, con un apéndice por A. B. Winterbottom. xxxiv* + 863 *págs. Edward Arnold, Londres. Segunda edición,* 1946. *Precio neto,* 50*s.*

El hecho de ser necesaria una segunda edición de esta obra sólo ocho años después de haber sido reimprimida la primera dice muy bien en favor de su autor y del público científico. Contiene el volumen casi 150 págs. más que en su edición anterior, pero las restricciones del tiempo de guerra en la calidad del papel han reducido su grosor a casi la mitad, lo que lo hace mucho más manejable. Con todo, algunas planchas que ilustrasen diversos tipos de corrosión, estructuras micrográficas, etc., hubieran servido para romper la desnudez puritana y diagramática monotonía del texto. Gran parte de la obra ha sido redactada de nuevo, habiéndose añadido mucho material y referencias hasta el año 1945, lo cual es excelente cuando se considera el lapso de tiempo que transcurre hoy entre la corrección de pruebas y la publicación. A lo que parece, el detallado estudio de Logan y Romanoff publicado en los Estados Unidos en el otoño de 1944 no llegó a Inglaterra a tiempo para que fuese incluído en el presente volumen.

Para beneficio del lector no especializado se ha incluído una breve introducción a los principios de electroquímica en la parte primera de la obra, dedicándose luego nueve capítulos a la corrosión propiamente dicha, cuatro a la protección y uno a los métodos de prueba. Opinamos que el autor hubiera debido dedicar un volumen separado a las medidas de protección, ya que tienen éstas gran importancia práctica y debieran ser tratadas plenamente. Los cuatro capítulos del presente volumen son insuficientes, estribando su mayor valor en la extensa bibliografía; pero como parte de un libro de texto, que es aparentemente la intención del autor (*vid.* pág. iv), son un verdadero fracaso. Y es curioso que en el capítulo de «Errores» (págs. 780–1) ocurran dos de los pocos errores gramaticales que aparecen en el volumen. El autor agradece la ayuda de numerosas autoridades en la materia que le han ayudado en su difícil tarea.

J. NEWTON FRIEND

LOS ARBOLES DE LA GRAN BRETAÑA

Trees in Britain, *por L. J. F. Brimble. x* + 352 *págs. Macmillan & Company Limited, Londres.* 1946. *Precio neto,* 15*s.*

Todos los que hayan leído el previo libro de Mr. Brimble, *Flowers in Britain* —y deben ser muchos— se alegrarán de la publicación de éste su sucesor, igualmente atrayente. El britano ha amado siempre los árboles, y en este volumen hallará, lo mismo que otros, encanto e instrucción. Como es natural, hay muchas menos especies de árboles que de flores en la Gran Bretaña, lo que ha permitido al autor hacer un estudio mucho más detallado. El libro va destinado en primer lugar al lector en general, en quien no se presupone ningún conocimiento de Botánica. Todos los datos botánicos esenciales van explicados en un estudio introductorio de las plantas de flor. En el texto propiamente dicho se estudian la estructura de los árboles, su clasificación, hábitos y ambiente, otorgándose especial mención al papel que toman los árboles en el folklore y en la literatura. Las planchas en color, preparadas por artistas especializados en el diseño de árboles son excelentes, mientras que algunas de las ilustraciones más atrayentes son reproducciones de los dibujos a lápiz de Lonsdale Ragg.

CROMATOGRAFIA

An Introduction to Chromatography, *por Trevor I. Williams. viii* + 100 *págs. Blackie & Son Limited, Londres.* 1946. *Precio neto,* 10*s.*

La separación y purificación de los compuestos orgánicos por el método cromatográfico está adquiriendo rápidamente gran importancia en la práctica general de los laboratorios. Este libro, cuyo autor cuenta con gran experiencia en la aplicación de dicha técnica, va dirigido en primer lugar al estudiante, pero ha de ser también de gran valor a los investigadores, quienes hallarán en él toda la información que requieren normalmente.

Tras una breve descripción del trabajo inicial de Tswett, hace más de 36 años, sobre la separación de los colorantes naturales, aparece un estudio de los adsorbentes, en particular de la alúmina y su standardización, solventes, eluentes usados para el desarrollo de las columnas, tipos de aparatos, todo un conjunto considerable de información referente a la técnica de laboratorio, ilustrada con ejemplos reales. El útil procedimiento de examinar las columnas bajo luz ultravioleta aparece con el merecido relieve, así como también la extensión de los métodos cromatográficos para la separación de las substancias incoloras,

incluyéndose un estudio del método de Tiselius. La separación de los iones es un método de considerable valor potencial para el análisis inorgánico, encontrándose en esta obra también un estudio de las recientes investigaciones de Martin y Synge sobre la cromatografía de partición mediante la utilización de un gel de sílice. El capítulo final estudia la teoría sobre la que se basa el análisis cromatográfico. El libro está admirablemente escrito, muy bien ilustrado e impreso. W. BAKER

EL BLANQUEO DE LAS MATERIAS TEXTILES

An Introduction to Textile Bleaching, *por J. T. Marsh. xiii + 512 págs, con 154 figuras, incluyendo 32 planchas. Chapman & Hall Limited, Londres.* 1946. *Precio neto,* 32*s.*

Con esta obra el autor añade otro volumen a su excelente serie de libros sobre diversos aspectos de la Química y Tecnología textiles. Acompaña apropiadamente a *An Introduction to the Chemistry of Cellulose* y *Mercerising*, ofreciéndonos el primer estudio completo de un tema que hasta ahora se ha encontrado perdido aquí y allá entre todas las publicaciones textiles del mundo.

La obra, escrita con gran claridad y sistema, ofrece un valioso fondo de información, en forma que se ajusta tanto a las necesidades del recién llegado a la industria textil, como del veterano que es lo suficientemente progresista para agradecer la ayuda que la Ciencia pueda ofrecerle en su trabajo. El autor conoce la importancia de los principios fundamentales y dedica una considerable parte de la obra a la estructura de los diversos tipos de fibras textiles, continuando con el estudio del blanqueo propiamente dicho cuando da por bien comprendido el previo conocimiento básico. Establece así Mr. Marsh un precedente que bien debiera ser seguido por otros autores de esta clase de obras.

Nos hallamos hoy ante el urgente problema de la modernización de la industria textil, y su solución depende, en mucho, de la aplicación de la Ciencia y de los métodos científicos en una industria que ha crecido sobre procedimientos empíricos. Para ello necesitaremos textos apropiados acerca de la ciencia textil, y las series de Mr. Marsh están llenando admirablemente dicho vacío. J. G. COOK

UN TEXTO DE QUIMICA

General and Inorganic Chemistry for University Students, *por J. R. Partington. xxiii + 916 págs. Macmillan & Company Limited, Londres.* 1946. *Precio neto,* 36*s.*

El Profesor Partington es bien conocido expositor de temas químicos, caracterizándose sus libros por la exactitud de su contenido y su estilo agradable, aunque sin adornos. El presente libro está destinado al uso de los estudiantes de los últimos cursos de bachillerato y de los primeros de Universidad, en lo que se refiere a la Química inorgánica.

La parte inicial trata de la Química general y Química física, encontrándose en sus páginas, además de otros muchos temas, un estudio excelente de la teoría quántica del átomo. Los elementos van estudiados en el orden de sus grupos en la Tabla Periódica, y aunque dicho orden no deja de tener sus desventajas, no se ha hallado todavía otro mejor, existiendo además un fundamento natural para el orden periódico.

Lo mismo que en otro libro suyo, *Textbook of Inorganic Chemistry for University Students*, el autor incluye en el presente descripciones de experimentos para demostración en la clase, y una lista muy útil de libros que tratan de tales experimentos. Se omiten, por lo general, los detalles de los procesos técnicos, describiéndose solamente los procedimientos modernos, excepto cuando los más anticuados presentan algun punto de interés científico. Aparecen numerosas referencias a monografías originales u otras fuentes, insistiéndose, con buena razón, en la importancia de que el estudiante consulte alguno de estos trabajos originales. El contenido informativo de la obra es muy extenso, pero está presentado con tanta lucidez que el estudiante no hallará dificultad alguna en su asimilación o utilización.

MICROANALISIS BIOQUIMICO

Micro-Analysis in Medical Biochemistry, *por E. J. King.* 168 *págs. J. A. Churchill Limited, Londres.* 1946. *Precio* neto, 10*s.* 6*d.*

Contiene este libro instrucciones simples y precisas para la ejecución de todas las investigaciones corrientes de Bioquímica y los análisis que se llevan a cabo comunmente en un laboratorio patológico, incluyéndose la preparación de reagentes y los cálculos de resultados. La obra es más completa de lo que su título indica, ya que numerosos procesos, tales como los de la orina, apenas pueden clasificarse como micrométodos.

Aparte de una tabla que contiene los valores normales para ciertos componentes de flúidos y feces, otras que da una lista de las condiciones clínicas asociadas con valores altos y bajos, y alguna nota que otra en el texto, la obra no estudia la interpretación de los resultados; lo cual no era de esperar, ni va en detrimento suyo. Aunque las instrucciones son clarísimas y suficientes, se señala muy poco, o nada, de las limitaciones de los métodos descritos, y son muy escasas las referencias a descripciones más completas. Por todo lo cual, el libro no es primordialmente para el estudiante o el investigador clínico, pero tendrá gran utilidad para los que se ocupen del examen o análisis del material clínico.

N. G. HEATLEY

DIAGRAMAS FASICOS PARA LAS SOLUCIONES ACUOSAS

Aqueous Solution and the Phase Diagram, *por Frederick Field Purdon y Victor Wallace Slater. iv + 168 págs. Edward Arnold, Londres.* 1946. *Precio neto,* 24*s.*

En esta obra, muy bien impresa, los autores explican la construcción de los diagramas fásicos de sistemas heterogéneos y estudian con gran claridad y comprensividad su interpretación. Muestran cómo es posible, partiendo de un simple conocimiento de principios geométricos, utilizar los diagramas fásicos para la solución, tanto cualitativa como cuantitativa, de problemas referentes a la separación de substancias puras de las mezclas, preparación de compuestos dobles e hidratos, la re-utilización cíclica de licores madres y la cantidad exacta de evaporación o dilución requerida para obtener el óptimo resultado económico consistente con la pureza del producto, y el efecto de la adición de otras sales o de la acumulación de impurezas. Puede seguirse con dichos diagramas el progreso de las diversas operaciones cuantitativamente, asegurándose las mejores condiciones posibles.

Este libro ha de tener gran valor para el técnico interesado en la práctica. Los diagramas son muy claros y bien diseñados, incluyéndose tablas de datos experimentales con las que puede el estudiante construir sus propios diagramas. ALEXANDER FINDLAY